

科学技術動向

2004

9

No.42

科学技術トピックス

▶ ライフサイエンス分野

- ① コンジョイント分析を用いた脳機能疾患に関する臨床指標の作成
- ② NIH 研究費申請書のガイドラインの変更は
大学の知的財産戦略に影響するか？

▶ 情報通信分野

- ① センサーネットワークの実用化推進の動き

▶ 環境分野

- ① 世界における大気汚染物質による健康影響研究の動向

▶ ナノテク・材料分野

- ① 誘電体膜の相転移温度や酸素欠陥を制御する技術の進展

▶ エネルギー分野

- ① 太陽熱を利用した新しい高効率タービン発電システム基礎技術を開発

▶ 製造技術分野

- ① エンジニアリングセラミックスの展望

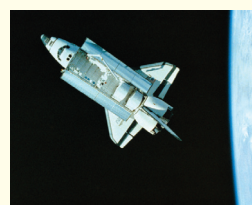
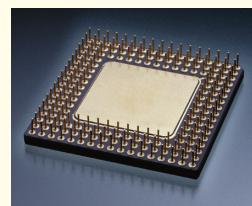
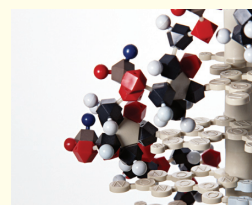
▶ フロンティア分野

- ① 彗星探査機スターダストが明らかにした彗星の多様性

特集 1 二つの合理性と日本のソフトウェア工学

特集 2 材料データベースの課題と将来展望

—世界で使われる材料データベースを目指して—



科学技術トピックス

ライフサイエンス分野

5

① コンジョイント分析を用いた脳機能疾患に関する臨床指標の作成

客観的で科学的根拠に基づいた医療と、患者の生活の質を向上させる介護の方法を開発するため、疾病の重症度や治療・介護の難易度などを判断する際の、定量的な評価指標が求められている。経済の分野では、消費者の購買意欲に影響する、複数の商品属性の間の重要度を算定（重み付け）し、消費者の嗜好や価値観を推定する指標を作成する際に、コンジョイント分析という解析方法の実績が示されている。このコンジョイント分析を応用し、日本脳卒中学会は、重み付けを付加した定量的臨床指標として初めて、急性脳卒中患者の重症度に関する日本脳卒中スケール（JSS、Japan Stroke Scale）を開発した。JSSは、重み付けのない指標よりも、急性脳卒中患者の治療効果判定に有効である事が示された。コンジョイント分析を応用し更に、脳機能障害患者に対する看護難易度、転倒転落危険度、頭痛の苦痛度など、患者の生活の質を向上させる為の指標の開発が進められている。

② NIH 研究費申請書のガイドラインの変更は大学の知的財産戦略に影響するか？

研究のリソースと言われるものには、NIH の定義によると遺伝子改変生物および変異生物などの生物材料由来のもの、遺伝子型によるスクリーニング法や遺伝子変異体作成のプロトコル（実験手順または仕様）などが含まれる。これらのリソースの研究者間の共有化と迅速な普及を促進するために、NIH は研究費支援におけるガイドラインに変更を加え、2004 年 10 月 1 日に NIH が受理する研究費申請書から適用することにした。研究費の申請書には、研究の結果で得られたリソースの共有化や、普及に関する計画について記述するように求められている。共有化には、論文発表前のリソースも対象とされる。この NIH のリソース共有化の促進策が、米国の大学の知的財産戦略にどう影響するか興味深い。

情報通信分野

6

① センサーネットワークの実用化推進の動き

ユビキタスセンサーネットワークとは、超小型無線装置が種々のセンサーに内蔵され、センサー同士が無線で自律的に情報の流通を実現するものである。自然災害の自動監視、構造物管理など様々な分野への応用が広がるが、具体化には難しい技術が要求される。米国では、環境観測や軍事目的に類するプロジェクトなどが盛んに行われている。欧州、韓国などもセンサーネットワークの重要性を認識し国主導での研究開発が行われている。日本でも、総務省が 2004 年 3 月に「ユビキタスセンサーネットワーク技術に関する調査研究会」を設置し、ユビキタスセンサーネットワークによってもたらされる新たなサービス、今後取り組むべき課題などにつき、産業界、大学、研究機関、政府が一体となって検討してきたが、8 月 6 日に今後の推進策や課題をまとめた最終報告を公表した。

環境分野

7

① 世界における大気汚染物質による健康影響研究の動向

大気汚染物質によって生じる DNA 損傷の化学構造決定や突然変異の解析、突然変異誘発の分子機構、そして PM（微粒子）が健康へ与える影響などの研究が各国で行われている。

国立環境研究所は、大気汚染に弱いシロイヌナズナを用いてこの研究を行っている。アメリカの EPA の研究では、ディーゼル排気粒子は多様な物理的・化学的性状を有し、大

腸菌への突然変異誘発性などについても異なる影響を明らかにした。カナダのマクマスター大学の研究者チームは、汚染された空気と清浄な空気の 2 つの環境に実験用マウスをさらし、汚染環境下のマウスから生まれた子は、父親から変異を受け継ぐ例が他と比較すると 2 倍多く見られるという結果を得た。フランス環境衛生安全局は「大気中微粒子のヒトへの影響」に関する報告書を発表し、ドイツ連邦環境省は「環境負荷削減のための投資プログラム」から約 150 万ユーロを Norddeutsche Affinerie 社有害粒子削減プロジェクトに対し助成することを発表した。また、室内汚染物質への曝露に関する研究成果が EU の共同調査センターによって発表された。これによると欧州のぜん息患者の 20% は、屋内で吸入した物質によるものとされる。

これら各国の動向は、各国の今後の規制にも深く関わるものとして注目される。

ナノテク・材料分野

8

①誘電体膜の相転移温度や酸素欠陥を制御する技術の進展

ペロブスカイト構造（一般化学式： ABO_3 ）をもつ誘電体は、セラミックの電子部品、高温超伝導体、強誘電体メモリ材料などとして数多くの研究があり、特にチタン酸ストロンチウム（ $SrTiO_3$ ）は基本的な物質で、他の誘電体研究の参考例にされている。この $SrTiO_3$ の薄膜に関して、新たに 2 つの注目される試みがなされた。 $SrTiO_3$ は強誘電性を示さないペロブスカイト化合物であるとされてきたが、ペンシルバニア州立大学など 9 つの機関から成る研究グループは、結晶に歪みを与えて、外挿すると絶対零度以下にあるはずと予想される $SrTiO_3$ の強誘電性を室温で発現させることに成功した（Nature, vol.430, p.758）。一方、ルーセントテクノロジー社と日米複数の大学との共同研究グループは、層ごとに酸素欠損量を意図的に変えた $SrTiO_3$ の多層構造を作製し、角度散乱暗視野電子顕微鏡を用いて結晶格子の 1 層分の急峻さで酸素欠損量が変化している様子を観測した（Nature, vol.430, p.657）。

エネルギー分野

8

①太陽熱を利用した新しい高効率タービン発電システム基礎技術を開発

東北大学大学院環境科学研究科の斉藤武雄教授らの研究チームは、太陽熱を利用した新たな高効率ブレードレスタービン発電システム基礎技術の開発に成功した。開発された新システムでは、直径約 20cm のローターに、太陽エネルギーで約 180～200℃に温めた高温媒体（代替フロン）をマッハ 2～3 の超音速で吹き付け、毎分約 3,300 回転で回転させ、毎時 300W 発電する。太陽エネルギーの 16～20% を電気エネルギーに変換しており、発電効率は単結晶・多結晶シリコン太陽電池（13～20%）とほぼ同等、アモルファスシリコン太陽電池（8～13%）の約 2 倍。高効率を実現したキー技術は、ローター形状で、直径約 20cm、厚さ 0.1mm のステンレスで作った渦巻き状のディスクと、同サイズの平板を 100 枚単位で交互に重ね合わせて作り、粘性力、衝動力、反動力などの現象を複合的に利用して効率を高めた。

発電システム価格は、太陽光発電が 1kW あたり 70 万円に対し、同 30 万円以下、出力は 1～10kW クラスへの小型化が容易な一方、システムを直列に重ね合わせると高効率な大規模発電も可能である。年内に実証実験に着手し、来年以降に 3kW 程度の家庭用小型電源などの形で商品化を図る予定。今後、化石燃料フリーな新しいタービン発電システム技術として注目される。

製造技術分野

9

①エンジニアリングセラミックスの展望

宇宙開発、海洋開発、原子力などのビッグサイエンスにおいて、高温、腐食、磨耗などの過酷な環境条件に耐えるために、エンジニアリングセラミックスはなくてはならない。応用製品としては、産業機械部品、医療用セラミックス、ベアリング、高温フィルター、ディーゼル用フィルター（黒煙等除去フィルター）、耐磨耗材などがある。欧州では医療用セラミックスは好調で、米国に多量に輸出されている。軍事用は米国で特に好調である。欧州は環境問題をクリアするために、ディーゼル用フィルターが大きなマーケットを形成しようとしている。また、半導体製造装置や電気モーターに用いられるセラミックベアリングの好調さは今後も続くと考えられる。

切削加工工程を最小限にする低コストの製造技術開発が進めば、今後徐々に製品が民生用にも転化してくると予想される。

我が国では国家プロジェクトによる研究開発成果も蓄積されており、また、セラミックスのナノレベルからの材質設計、革新的プロセスの研究開発など意欲的な研究により、他国に先んじた新規エンジニアリングセラミックスの実用化による中核技術の先取と世界市場の獲得が期待される。

フロンティア分野

10

①彗星探査機スターダストが明らかにした彗星の多様性

米国航空宇宙局（NASA）が1999年に打ち上げた彗星探査機「スターダスト」は2004年1月2日にヴィルト第2彗星に接近して彗星核（彗星の本体）を撮像し、従来の彗星に関する概念を覆す画像を送信してきた。過去のハレー彗星やボレリー彗星の探査では、真っ黒な表面で細長いジャガイモのような形の彗星核が撮像されたのに対し、ヴィルト第2彗星では核の形がかなり丸く、表面にクレーターとおぼしき地形が多数見られた。また、彗星塵の主成分は有機物であることも明らかにされた。表面の色はハレー彗星と同様にほとんど真っ黒であった。国立天文台の渡部潤一助教授は、天体として1つの種類に分類されてきた彗星も実は異なった起源や歴史を持っているのかもしれない、とコメントしている。採集した彗星塵を直接観察することで宇宙の起源や進化の解明が大きく前進する可能性があり、2006年のカプセル回収が期待される。

特集—1

二つの合理性と日本のソフトウェア工学

— 11

長年の重点的投資にもかかわらず、日本のソフトウェア部門は、国際競争力の観点からは絶望的といえるほどに弱い。この問題の原因を「合理性の理論」の観点から論ずる。

日本のソフトウェア産業の構造的弱さは、日本人の合理性・論理性の弱さと関係している。しかし、日本人は合理性・論理性に全面的に劣るのではない。多くの文化があるように、多くの合理性の形態が存在するのである。この社会学的観点からは、日本の機械工業のお家芸とされる「作り込み」は一種の合理性である。

そして、現在のビジネスに要求される迅速で柔軟なソフトウェア開発のために、世界最先端のソフトウェア・コンサルタントたちが、「作り込み的」な手法を取り入れ始めている。

この手法は「計画的合理性」を基礎とする従来のソフトウェア工学の常識を覆すものである。ソフトウェア工学の風向きは変わろうとしており、その風は「日本の手法」にとって好都合な方向に吹いている。

本稿では、この新状況を生産工学などからの協力を得て分析し、それに基づいてソフトウェア産業・ソフトウェア人材育成の政策を見直すことにより、日本のソフトウェア工学、ソフトウェア産業の競争力が飛躍的に高まる可能性があることを主張する。

特集— 2

材料データベースの課題と将来展望

— 22

— 世界で使われる材料データベースを目指して —

データや情報は科学技術の基盤として整備が必要であるとされている。しかしながら、データベースの整備には課題も多く、十分に進んでいるとはいえない。そこで、わが国の材料データベースの特質や問題点を分析するとともに、わが国や海外の代表的な機関での材料データベース活動の状況を調査し、材料データベースの有効性を高めるために何を目標すべきかを示し、材料データベースの開発をどう進めていくべきかを提示する。

データベースは見えることが大事である。つまり、データベースが使われるにはユーザーに容易に探し出されなければならない。また、使われるためには、価値のある内容を持ったデータベースでなければならない。材料データベース開発では使ってもらえるデータベース作りを目指すべきであり、またユーザーから見えるデータベース作りを心がけるべきである。

わが国の技術は現場対応の擦り合わせ型であり、これに応える材料データベースを開発すべきである。このためには、材料データベースのユーザーである研究者や技術者のニーズに応えられる専門性の高い、豊富な内容を持ったデータベースを構築していくことが不可欠である。また、データベースの有効性を高めるためには、データを効果的に活用できるソフトウェアの開発も重要である。

わが国の材料データベースは、専門性の高いデータベースが物質・材料研究機構（NIMS）や産業技術総合研究所（AIST）から発信されている。しかも、ユーザーに好評なデータベースは長期間かけて、組織的な体制のもとで作り上げられている。材料データベースは世界の中でユニークな内容を持つデータベースとして開発され、育てられなければならない、公的研究機関が中核となって進めるべきである。

世界にはさまざまな材料データベースが存在する。材料データベースは専門性が高く、豊富な内容を持っているが、対象とする領域が狭く、1つ1つのデータベースのみではユーザーの要求を満足できない。しかし、データベースの作成者の思いを汲み取らないデータベースの統合は難しい。専門のユーザーにとっては情報源の所在を知ること十分である。そこで、情報源の所在を知ることができる材料データベースのネットワークシステムを国際的な規模で作り上げることは極めて有効である。

専門的な材料データベースの開発は材料専門家が主体になり、情報専門家が支援する体制で進めるべきである。また、データベースは開発ばかりでなく、維持し育てることが重要であり、このため、材料データベースの維持に関しては研究開発と違った資金枠の確保が必要である。

科学技術 トピックス

以下は科学技術専門家ネットワークにおける専門調査員の投稿（9月号は2004年8月7日より9月10日まで）を中心に「科学技術トピックス」としてまとめたものです。センターにおいて、関連する複数の投稿をまとめ、また必要な情報を付加する等独自に編集するため、原則として投稿者の氏名は掲載いたしません。ただし、投稿をそのまま掲載する場合は、投稿者のご了解を得て、記名により掲載しています。

ライフサイエンス分野

① コンジョイント分析を用いた脳機能疾患に関する臨床指標の作成

脳の各部位は其々全く異なった機能を担うため、単一な脳機能の尺度を作ることは不可能であり、各機能に対して尺度を作ったとしても、これらを定量的に統合することは困難であった。しかし、客観的で科学的根拠に基づいた医療と、患者の生活の質（QOL）を向上させる介護の方法を開発するため、定量的な臨床指標が求められている。経済の分野で商品属性の重要度を決定する際、欧米でよく用いられるコンジョイント分析という方法を応用し、日本脳卒中学会は、急性期脳卒中の重症度に関して、重み付けを付加した定量的指標である日本脳卒中スケール（JSS、Japan Stroke Scale）を開発した。2001年の発表時、世界では米国NIHの開発したNIHSSを始め約15種の神経学的重症度スケールと約15種の機能障害評価スケールが存在したが、JSSが初めて重み付けを付加し、個々の神経学的症候の点数を加算することによって患者の総合的重症度を反映することを可能とした。日本脳卒中急性期患者データベースを用

いて、JSSと重み付けの無いNIH Stroke Scaleと比較すると、治療効果の判定に関して、JSSのほうが有効である事が示された。コンジョイント分析を利用して、脳卒中の重症度のみならず感情（うつ・情動）障害や看護難易度、更に痴呆患者介護難易度、頭痛患者のQOL指標、患者の転倒・転落危険度など、患者の生活の質を向上させる為に実用可能な指標の作成が進められている事が、第9回認知神経科学会で報告された。

そもそもコンジョイント分析とは、数理心理学や心理計測学の分野で開発された統計理論である。市場調査の分野で応用され、商品の性能・形状・価格など複数の属性に対し、消費者の購買意欲に影響する属性の重要度（重み）を算定することが可能で、消費者の嗜好や価値観など定量化の困難な因子を数量化し得る事が実証されている。

臨床の場面では、患者の転倒・転落危険度を例にとると、熟練した医師や看護師は、どのような患者がどのような状況で転倒・転落し易いかを適切に予測する事が可能であるといわれるが、この予測能力を他者に伝えたり、患者ごとに危険度を数量化して関係者に申し送ることは困難であった。コンジョ

イント分析を用い、患者の個人的特性や障害の諸相を様々に組み合わせた仮想的患者を複数作成し、其々をカードに記載して多数の予測熟達者に提示し、仮想的患者の転倒・転落危険度を判定してもらう。異なった熟達者が危険度に関与すると判断する因子には、一定の傾向があり、これを統計分析することにより、諸因子の重み付けができる。個々の患者の転倒・転落傾向や総合的危険度を知ることにより、予防的な措置が可能となる。

又、患者本人の感じる痛み等の苦痛の度合いは、問診や観察・測定などでは伝わり難い。頭痛の場合、発症の頻度や継続時間、肉体的・知的活動に対する影響、他の身体的症状との関連性、生活の充足度などの要因の重み付けを行うことにより、患者の痛みという主観的な因子を、医師や介護者が評価して対応方法を勘案することが可能となる。

このように作成された指標に、地域や国民性によって異なる価値観が反映される因子が含まれると、地域ごとに重み付けが異なる可能性もあるが、必要に応じて広範な規模で分析し客観性を高めることが可能である。実地で検証し改善した指標を用いることにより、個々の患者に応じてQOLを

向上させる対応をする事が可能になる。

参考文献

- 1) Stroke, 2001, vol.32, p1800 - 1807
- 2) 第 9 回認知神経科学会、寺山靖夫氏より

② NIH 研究費申請書のガイドラインの変更は大学の知的財産戦略に影響するか？

研究の進展に中心的な役割を果たすものは、研究によって新しく創出されたリソースである。NIH が定義するリソースは、遺伝子改変生物および変異生物などの生物材料由来のもの（胚なども含む）、遺伝子型などをスクリーニングするためのプロトコル（実験手順または仕様）、遺伝子変異体を作成するためのプロトコルなどが含まれる。

これらのリソースを基にして研究を行い、その結果生じた新しいリソースでさらに次の研究を実施するという研究の連鎖により、研究領域全体の発展が加速されると考えられる。

NIH は、リソースの研究者間の共有化と迅速な普及を促進するために、NIH 研究費支援におけるガイドラインに変更を加え、2004 年 10 月 1 日に NIH が受理する研究費申請書から適用することにした。

それによると、年間 50 万ドル以上の全ての研究費の申請書は、研究の結果で得られたリソースの共有化や普及に関する計画について記述するように求められ、研究費の採択の際には考慮される。共有化や普及の際の費用は NIH が支援する。共有化には、論文発表前のリソースも対象とされる。

リソース共有化を推進する背景は、生命学者、特に遺伝学者においてリソース共有化の認識が低いこと、および発表論文に基づいた追試実験を試みる際に、論文著者からリソースの提供が無かったために実行することが不可能であった、という経験をした研究者が多いことが米国国内調査でわかったからである（JAMA. 287(4): 473 - 480, 2002）。

また、NIH の研究費によって難しいリソースの開発に成功した研究者が他の研究者にリソースの提

供をしなかった場合、NIH は別の研究者の同様な研究に研究費支援をしなければならず、これは研究費の効率的な使用の妨げになると考えられたからである。

大学の研究者などをメンバーとする政府関係会議（COGR）は、公開文書を NIH 宛に書き、この変更が公開協議なしに決まったことや、知的財産の問題の取り扱いの不明確さを含む多くの懸念を挙げ、NIH に回答を求めた。しかし、これらに関する文書による回答はまだない（Nature, vol.430, p953, 2004）。

通常、研究成果のライセンスの決定は、個々の研究者よりも大学側にある。この NIH のリソース共有化の促進策が、今後、米国の大学の知財戦略にどう影響するか興味深い。

参考文献

- 1) JAMA. 287(4): 473 - 480, 2002.
- 2) Nature, vol.430, 951 および 953, 2004.
- 3) NIH ホームページ：
http://grants1.nih.gov/grants/policy/data_sharing

情報通信分野

① センサーネットワークの実用化推進の動き

ユビキタスセンサーネットワークとは、超小型無線装置が種々のセンサーに内蔵され（以下、このセンサーをノードという）、センサー同士が無線で自律的に情報の流通を実現するものである。このノードをばらまけば、無線で隣接する相手を発見し、相互連携してメッシュ状のネットワークを作り上げる。固定的にネットワークを

設けることなくセンシング情報を集められるため、自然災害の自動監視、構造物管理など様々な分野への応用が広がる。

カルフォルニア大学バークレイ校の研究グループとインテルは、共同でセンサーに単純なコンピュータを組み込んだ小型のノード「Mote」（モート：ほこりの意味）を開発した。モートは「TinyOS」という基本ソフトで動き、起動した瞬間、周囲のモートと自動的に接続する。「TinyOS」は電力消費を厳しく管理しており、特定の事

象が発生しない限りプログラムを実行しない。このモートを森の多数の木々に取り付けて周囲をセンシングすることで森の気候変動を調査した。インテルでは生産ラインの停止を防ぐため、工場内の主要な機械を監視する用途に利用する予定である。しかし、具体化には、システム内に共存する多数のノードを効率よく確実にプログラムすることをはじめ、データの伝達方法、省電力化、小型化、低コスト化などの難しい技術が要求される。

センサーネットワークの各国の取り組みとしては、海外では米国を始め、欧州、韓国などがセンサーネットワークの重要性を認識し国主導での研究開発を行っている。

米国では、軍事主導での広域向けのアプリケーションが多く、前記した小さなノードを広範囲に散布した環境観測や軍事目的に類するプロジェクトなどを盛んに行っている。最近の話題としては、8月に米国で開催された高速チップに関するシンポジウム (Hot Chips 16) で、カルフォルニア大学バークレイ校がモートの最新成

果として、省電力化により単3乾電池2本使用時の駆動時間を、環境計測用途などの利用で、これまでの約1年から約3年に伸ばしたと報告している。

日本でも、総務省が2004年3月に「ユビキタスセンサーネットワーク技術に関する調査研究会」を設置し、ユビキタスセンサーネットワークによってもたらされる新たなサービス、今後取り組むべき課題などにつき、産業界、大学、研究機関、政府が一体となって検討してきた。そして、8月6日に「ユビキタスセンサーネットワー

クの実現に向けて」として、今後の推進策や課題をまとめた最終報告を公表した。

参考文献

- 1) 「世界を見守る賢いセンサー網」 (D.E. カラー、H. マルダー 日経サイエンス 2004年9月号)
- 2) 「ユビキタスセンサーネットワークの実現に向けて 最終報告」 (ユビキタスセンサーネットワーク技術に関する調査研究会 2004年7月)

環境分野

① 世界における大気汚染物質による健康影響研究の動向

大気汚染物質によって生じるDNA損傷の化学構造決定やDNA損傷が引き起こす突然変異の解析、突然変異誘発の分子機構、そしてPM (粒子状物質) が健康へ与える影響などの研究が各国で行われており、その結果が規制強化にもつながっている。

国立環境研究所は、オゾンなどの大気汚染ガスや環境変化が植物に及ぼす影響及びそれに対する植物の反応を分子レベルで解明するために、大気汚染に弱いシロイヌナズナを用いて研究を行っている。

アメリカではEPA (米環境保護局) の研究者によって、2種類の異なるディーゼル排気粒子のサンプルを用いた組成、毒性および突然変異誘発性を比較した2つの研究が発表された。今回の発表は、フォークリフトおよび自動車の排気ガスから採取された2つの排出源を比較した初めての研究である。この研究では、2つのディ

ーゼル排気粒子が、異なる物理的・化学的性状を有し、大腸菌への突然変異誘発性及びマウスの肺への毒性についても、異なる影響を及ぼすことを明らかにした。最近EPAは、大気汚染と心臓血管疾患との関係に関する研究について、これまでEPAが科学研究に対して提供した中で最高額の3,000万ドル (36億円) の補助金をワシントン大学に提供した。さらに、全米研究評議会 (NRC) は、粒子状物質に関するEPAの調査を評価した際、粒子状物質への長期的な暴露について、政府の知見を拡大するため、疫学的研究の必要性を強調した。

カナダのマクマスター大学の研究者チームは、製鉄所がある基幹道路沿いに、一方はそのまま、片方はHEPAフィルターを通した空気が呼吸できる2つの環境に実験用マウスをさらし、どの汚染成分が突然変異を誘発するののかを探る実験をした。この結果、汚染環境下のマウスから生まれた子は、父親から変異を受け継ぐ例が、他と比較すると2倍となった。原因は、煤煙や粉塵などの微粒子に付

着しているVOC (揮発性有機化合物) と思われる。

ディーゼル自動車が主流のヨーロッパでも活発な動きが見られる。フランスのエコロジー・持続可能な開発大臣は、国の環境・健康計画の策定及び大気政策の中で、「大気中微小粒子のヒトへの影響」に関するフランス環境衛生安全局の報告書を発表し、この問題について国民へ広く喚起していく姿勢を見せている。

ドイツ連邦環境省は、Norddeutsche Affinerie社の有害粒子削減プロジェクトに対し、「環境負荷削減のための投資プログラム」から約150万ユーロ (1億9,500万円) を助成することを発表した。

また、室内汚染物質への曝露に関する研究成果がEUの共同調査センター (JRC) によって発表された。これによると、欧州市民は90%の時間を屋内で過ごしているが、室内環境には特有の健康リスクがあり、場合によっては汚染が屋外環境の2倍に及ぶこともあると述べている。室内からは、数百ものVOCが検出され、中には有毒性や発ガン性、突然変異を引き

起こす性質を持つものもあり、潜在的発生源は非常に多い。例えば、欧州のぜん息患者の 20% は、屋内で吸入した物質によるものとされる。また、建物の中に放出されて

いるタバコの煙、アスベスト、ラドン、ベンゼンは、ガンが増加している原因として最も疑いをもたれている。

大気汚染物質は、隣国にまで影

響を及ぼすことから、これら各国の動向は各国の今後の規制にも深く関わるものとして注目される。

ナノテク・材料分野

①誘電体膜の相転移温度や酸素欠陥を制御する技術の進展

ペロブスカイト構造（一般化学式： ABO_3 ）をもつ誘電体は、セラミックの電子部品、高温超伝導体、強誘電体メモリ材料などとして数多くの研究がなされている。そのなかでもチタン酸ストロンチウム（ $SrTiO_3$ ）は研究例の多い基本的な物質であり、その知見は他の多くの誘電体研究の参考例にされている。この $SrTiO_3$ の薄膜に関して、新たに 2 つの注目される試みがなされた。

多くのペロブスカイト誘電体は、ある温度（キュリー温度）以下では電界を切っても誘電性が残る強誘電体の性質を示し、キュリー温度以上では強誘電性を失って常誘電体になり、室温でどちらの性質を示すかによって、それぞれ異なる応用分野に用いられている。しかし、 $SrTiO_3$ は絶対零度まで冷やしてもキュリー点が観測できず、強誘電体にはならないべ

ロブスカイト化合物であるとされてきた。ペンシルバニア州立大学など 9 つの機関から成る研究グループは、外挿すると絶対零度以下にあるはずと考えられる $SrTiO_3$ の強誘電性を室温で発現させることに成功した（Nature, vol. 430, p.758）。ペロブスカイト誘電体でキュリー温度を移動させる方法には、元素置換や同位体置換などで物資の構成を変えてしまう方法と、結晶に歪みを与える方法が知られている。上記の研究グループは、まず、シミュレーション計算により、結晶に 1 % の歪みを導入することができれば、 $SrTiO_3$ のキュリー温度を 300℃ 以上移動させて、室温で強誘電性を発現させることが可能であると見積もった。次に彼らは実際に、基板との結晶格子の大きさの差を利用して薄膜に歪みを与えることを試みた。ディスプロシウムスカンジウム酸化物（ $DyScO_3$ ）という特殊な単結晶基板の上で、反応性分子エピタキシー（MBE）という成膜方法で歪みを入れながら $SrTiO_3$ 結晶を成長させたところ、見積も

りのとおりにキュリー温度を移動させることができた。一般に薄膜は厚くなるにしたがって結晶中の欠陥が生じることによって歪みが自然と緩和してしまうが、上記の研究グループは反射高速電子線回析（RHEED）で観察し、膜厚を注意深く制御しながら厚さ 50nm の $SrTiO_3$ 膜を作製した。

一方、ペロブスカイト化合物の電気特性は、結晶中の酸素欠損（酸素が少量抜けること）で絶縁体から半導体へ大きく変化することが知られているが、この酸素欠損量を任意に制御する技術はまだ確立されていない。ルーセントテクノロジー社と日米複数の大学との共同研究グループは、 $SrTiO_3$ の薄膜で層ごとに酸素欠損量を意図的に変えた多層構造を作製し、角度散乱暗視野電子顕微鏡を用いて結晶格子の 1 層分の急峻さで酸素欠損量が変化している様子を観測した（Nature, vol.430, p.657）。原子スケールでの酸素欠損制御を可能にした研究例として注目される。

エネルギー分野

①太陽熱を利用した新しい高効率タービン発電システム基礎技術を開発

東北大学大学院環境科学研究科の斉藤武雄教授らの研究チームは、太陽熱を利用した新たな高効

率ブレードレスタービン発電システム基礎技術の開発に成功した。開発された新システムでは、直径約 20cm のローターに、太陽熱により温められた高温高压水で約 180 ~ 200℃ に加熱した高温媒体（代替フロン）をマッハ 2 ~ 3 の超音速で吹き付け、毎分約 3,300

回転で回転させ、毎時 300W 発電する。

太陽エネルギーの 16 ~ 20% を電気エネルギーに変換しており、発電効率は単結晶・多結晶シリコン太陽電池（13 ~ 20%）とほぼ同等、アモルファスシリコン太陽電池（8 ~ 13%）の約 2 倍。高温

媒体の超音速吹き付けは、システム始動時には電動ポンプの補助を必要とするが、高温媒体は高温の加熱器から低温の冷却器へと自動的に循環するため、一度動き出せばランニングコストはほぼゼロに近い。

高効率を実現したキー技術は、ローター形状で、直径約 20cm、厚さ 0.1mm のステンレスで作った渦巻き状のディスクと、同サイズの平板をマイクロメートルオーダーの間隔をもって 100 枚単位で交互に重ね合わせて作り、粘性力、衝動力、反動力などの現象を複合的に利用して効率を高めた。従来

の火力、原子力などの 100 万 kW 級大型発電所で使われている蒸気タービンやガスタービンスystemは、超臨界状態の高温・高圧蒸気やガスを使うため、形状が複雑で高価であったが、本ブレードレスタービン発電システムは、分散型、超小型、低価格である。

今回開発したブレードレスタービン発電システム価格は、太陽光発電が 1 kW あたり 70 万円に対し、同 30 万円以下、出力は 1 ～ 10kW クラスへの小型化が容易な一方、システムを直列に重ね合わせると高効率な大規模発電も可能である。また、媒体気体の温度差

を利用してタービンを回すため、炭酸ガスや有害物質が発生せず、環境にも優しい。東北大では、本タービン技術を環境優先時代の重要な基盤技術のひとつと位置づけ、10 年以上の歳月をかけて研究開発を進め、ついに今回、その基礎技術開発に成功した。

期待される用途は、家庭用電源やハイブリッド自動車の動力などで、年内に実証実験に着手し、来年以降に 3 kW 程度の家庭用小型電源などの形で商品化を図っていく予定。今後、化石燃料フリーな新しいタービン発電システム技術として注目される。

製造技術分野

① エンジニアリングセラミックスの展望

セラミックスとは酸化物などの無機粉末材料を高温処理して焼き固めて製造されるもので、陶磁器として古くから知られている。

エンジニアリングセラミックスは機械的に優れた性質に着目したものであり、電氣的、磁氣的に優れた性質に着目したものがエレクトロニックセラミックスである。

宇宙開発、海洋開発、原子力などのビッグサイエンスにおいて、高温、腐食、磨耗などの過酷な環境条件に耐えるために、エンジニアリングセラミックスはなくてはならない。エンジニアリングセラミックスは、原料が資源的に豊富で、安価で、軽量であることから、大量に供給できる部材として大きな魅力を持つ。約 20 年前、「セラミックフィーバー」で過度な期待が集まったが、複雑な成形における製造コストの低減に技術的に高いハードルがあることなどから、当時期待されたような市場が形成できていない。しかし、基幹技術

を支える材料技術として、エンジニアリングセラミックスの研究、実用化開発は重要性を増しているといえる。

我が国におけるエンジニアリングセラミックスに関する動きを見ると、セラミックス市場の全体的な低迷にも拘らず、各種製造装置や産業機械の部品として幅広く使用される構造用ファインセラミックスは昨年（2003 年）が 1,165 億円と 8 年前（1995 年）の 763 億円から年平均 5.4% の伸びである。1980 年代に期待された規模には程遠いが、確実な伸びを示している。また、医療用セラミックスとして人工関節を見ると約 735 億円（2002 年）、約 792 億円（2003 年）と金額でそれぞれ対前年比約 13%、7.7% の伸びである。欧米の市場を見ると、エンジニアリングセラミックスの 2002 年の欧州市場は約 13 億ユーロ、米市場は約 13.5 億ドルで、2009 年までには各々年間約 17 億ユーロ、16.5 億ドルに達すると予測され、成長率は約 4.2%、2.9% である。欧米の全消費量は約 23 万トンであり、9 割以上がアルミナか他の複合酸化物である。エ

ンジニアセラミックスの高機能性があらためて評価されており、応用製品としては欧州では医療用セラミックス、ベアリング、高温フィルター、ディーゼル用フィルター（黒煙等除去フィルター）、米国では軍事用や耐磨耗部材、ディーゼル用フィルターなどがある。特に欧州の医療用セラミックスは好調で、米国に多量に輸出されている。米国では軍事用装甲品の製造が急速に増加している。

欧州は環境問題をクリアするために、ディーゼル用フィルターが大きなマーケットを形成しようとしている。日本、欧米共に半導体製造装置や電気モーターに用いられるセラミックベアリングの好調さは今後も続くと考えられる。

このように、日本、欧米ともエンジニアリングセラミックス市場は堅実な需要の伸びが今後も期待できる。

低コストで製造できる技術としてプリフォーム（前駆体：熱処理前の予備成形体）の段階で部品形状を付与するニアネットシェイププロセスなどを含めた新しい成形技術の開発が進めば、今後、徐々

にエンジニアリングセラミックス製品が民生用にも転化してくると予想される。

過去の国家プロジェクトによる研究開発成果の着実な蓄積やセラ

ミックスのナノレベルからの材質設計、革新的プロセスの検討など意欲的な研究により、一時自動車用エンジン部品やガスタービン部品で大いに期待された窒化珪素系

セラミックスも含めて、他国に先んじた新規エンジニアリングセラミックスの実用化による中核技術の先取と世界市場の獲得が期待される。

フロンティア分野

① 彗星探査機スターダストが明らかにした彗星の多様性

米国航空宇宙局（NASA）は、1999 年に彗星探査機「スターダスト」を打ち上げた。この探査機のミッションは、ヴィルト第 2 彗星に接近して彗星核（彗星の本体）を撮像し、彗星塵を採集して、2006 年に米国ユタ州に軟着陸させてカプセルを回収することである。2004 年 1 月 2 日に同彗星に接近したスターダストから送信された核の画像は、従来の彗星に関する概念を覆すものであった。

彗星の近接撮影は今回で 3 個目になる。1986 年、76 年周期で地球に接近するハレー彗星に向けて、米国の「ICE」、ソ連の「ベガ」、欧州宇宙機関の「ジオット」、日本（旧宇宙科学研究所）の「すいせい」が打ち上げられ、彗星の素顔が明らかにされた。細長い回転楕円体形状の彗星核と、氷の塊とは思えない真っ黒な表面に研究者たちは一様に驚いた。

続いて 2001 年、NASA の宇宙探査機ディープスペース 1 がボレリー彗星に接近し、ハレー彗星の時よりも何倍も鮮明な彗星核の画像を地球に送信してきた。同彗星の核の形状や表面の黒さなどは、ハレー彗星の核とほとんど同じであった。そのため彗星核というものは、こういうものなのだろう、という共通の概念ができあがってしまった。

スターダストに搭載された質量分析計による測定で、彗星塵には水素や酸素は少なく、窒素を多く含み、有機イオウ化合物の存在も確認されている。このことから、スターダストの研究チームは彗星塵の成分は主に有機物であるとしている。（Science, Vol.304, p1760 - 1780, (論文 6 編) 18 JUNE, 2004）

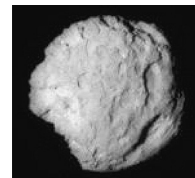
もともと氷を含む彗星は、何度も太陽に近づくうちに、その表面が太陽の光によってどんどん融かされていって、塵や岩などの融けない物質が残され、さらに微量に含まれている有機物が集積し、表面はコールタールのように真っ黒になる。そして、表面に蒸発を阻害する殻ができ、内部で生成した蒸発ガスが殻の割れ目からジェットとして吹き出している。だが、表面の殻はあくまで岩なので、それほど強度がないはずである。そのためハレー彗星やボレリー彗星では、表面に急峻な地形が見られなかった。

ところが、ヴィルト第 2 彗星の彗星核の画像は、それまでの常識を覆した。まず、彗星核の形がかなり丸かった。3 つの軸の径は 1.65km、2.00km、2.75km と倍の差もなかった。彗星は大きな天体が衝突してできた破片かもしれないという考えは、少なくともこの彗星に関しては当たっていないことが判明した。さらに驚くべきことは、その表面にクレーターとおぼしき地形が多数見られ、壁の傾斜が 70 度もあるような急峻な場

《スターダストの外観》



《ヴィルト 2 第 2 彗星》



最接近時に撮影

Photo by NASA

所があったことである。ピットハローと呼ばれる深い穴、フラットフロアと呼ばれる底が埋まったようなクレーターでも、外壁がはっきりしている。これは、ハレー彗星やボレリー彗星とは明らかに異なっている。こうした地形を保持するためには、かなり粘着性の強い物質でなくてはならない。彗星核にそのような粘着性の強い物質が含まれているというような予想は全くなかった。表面の色はハレー彗星と同様にほとんど真っ黒であった。

今回の NASA の成果に対し、国立天文台の渡部潤一助教授は、天体として 1 つの種類に分類されてきた彗星も、実はそれぞれ異なった起源や歴史を持っているのかもしれない、とコメントしている。採集した彗星塵を直接観察することで宇宙の起源や進化の解明が大きく前進する可能性があり、2006 年のカプセル回収が期待される。

特集①

二つの合理性と
日本のソフトウェア工学

客員研究官 林 晋*
客員研究官 黒川 利明**



1. 始めに

日本人は論理的でないという、また、合理的でないという。それが日本のソフトウェア産業の構造的弱さと関係しているのではないか？いくら重点的に予算を注ぎ込んでも日本のソフトウェア分野が浮上しないのは、日本社会が合理的・論理的思考法に弱く、また、それを軽視するためではないか？日本のソフトウェア産業・ソフトウェア工学の「弱さ」を前にして、我々は、そう考えていた。

アメリカ社会やヨーロッパ社会にみられるような合理的思考法が身に付かない限り、日本という社会は、ソフトウェアの分野に限定すれば、アメリカやヨーロッパと同じレベルで競うことさえできないのではないか？社会全体に、合理的思考法・論理的思考法が行き渡らない限り、この国のソフトウェア分野は永久に浮上しないの

ではないか。そして、この国が合理的・論理的になることなど、百年河清を待つようなことなのではないか。だから、日本のソフトウェア産業は容易なことでは浮上しないのではないか。これを打破するには、合理的思考・論理的思考を、学校教育に取り入れるしかなく、それは、日本をさらに西欧化・アメリカ化することであろう。

最近まで、我々は、そう考えていた。しかし、その「本家」アメリカで、この考え方を覆すような事態が起きている。失われた10年の間に、世界の最先端に行くアメリカのソフトウェア・コンサルタントたちが、トヨタ生産法のような「日本式」を、ソフトウェア工学の手法に取り入れ始めたのである。

「合理性」は、決して、西洋社会、特にアメリカ社会の専売特許でも

なければ、唯一正しい合理性の形態、絶対の合理性、とでも言うようなものがあるのでもない。多くの文化があるように、多くの合理性が存在する。アメリカが発見した「日本式」は、その合理性の一つだったのである。そして、今、それが急速に変化していくビジネスに対応するために、ソフトウェア工学の技術として不可欠なものになりつつある。

このことを深く理解して利用すれば、日本のソフトウェア工学、ソフトウェア産業のレベルが飛躍的に高まる可能性がある。現在は、日本のソフトウェア工学を世界の水準に高める千載一遇のチャンスである可能性が極めて高いのである。このチャンスを逃してはならない。

2. 日本のソフトウェア技術力

ソフトウェアという言葉は、マンガ、アニメなどのポップカルチャーから、コンピュータ・ソフトウェアまで様々な意味に使われる。日本は、マンガ、アニメなどの競争力は群を抜く。しかし、ゲームソフトなどポップ・アートの

要素の強いものを除外した、主に業務用のソフトウェアと、その生産技術に限定すれば、日本のソフトウェア技術力は極めて弱い。本論文では、「ソフトウェア」と「ソフトウェア技術力」を、この日本が弱い分野に限定する。日本の産

業・技術政策として、ソフトウェアを考えると、もっとも問題をはらんでいるのは、この分野であり、また、産業規模も大きいからである。

この意味での、ソフトウェア産業、および、それに必要とされるソフト

* はやし すすむ ● 神戸大学工学部 情報知能工学科 教授 ● <http://www.kobe-u.ac.jp/>

** くろかわ としあき ● 株式会社 CSK eソリューション技術本部技術調査部基盤技術グループ CSK フェロー ● <http://www.csk.co.jp/index.html>

ウェア工学は、さらに 2 つに分類することができる。本稿の分析を政策のレベルに応用する場合、この分類を意識することは重要である。それぞれに異なる人材を必要とするからである。しかし、この分類を技術の観点から説明するのは案外に難しい。そこで、これを産業形態の観点から説明しよう。

2 - 1

ソフトウェア技術力の 2 分類

MIT の Cusumano は、ソフトウェア企業のモデルを Microsoft、Adobe のような「ソフトウェア製品企業」(products company) と IBM、NTT Data のような「ソフトウェアサービス企業」(service company) に分類している⁴⁾。大雑把に言えば、前者は不特定多数の顧客が買うことを前提としたソフトウェアを作り、そのコピーを大量に販売することで成り立つ企業である。後者は、比較的少数の顧客に対して、それぞれの顧客の要望に応じて、ソフトウェアやシステムを構築することを仕事とする企業である。これはあくまでモデルであり、実際のソフトウェア企業の多くは、中間的だったり、双方の業態を兼ね備えているものである。しかし、ここでは、ソフトウェア構築という仕事を分類するために中間的ケースは考えない。

Cusumano は企業経営の観点から、この分類を考えているが、技術力について考察する本稿で、この分類を持ち出したのは、これらの 2 つ企業モデルが必要とするソフトウェア開発技術が異なっており、それにより、ソフトウェア構築技術を分類できるからである。ソフトウェア製品企業のために働く技術者には、Excel、Java、Windows、Linux、Oracle、GNU … などの、基本ソフトから、ビジネス・アプリ、あるいは、ゲーム・ソフトなどの個別の「製品」とし

てのソフトウェアを開発する能力が求められる。経産省の「未踏ソフトウェア事業」の目標は、この意味でのソフトウェア技術力を持つ個人の発掘と考えることができる。この種の企業におけるソフトウェア技術者は、ソフトウェアを自動車や家電製品を開発するように作る。

一方で後者のソフトウェアサービス企業で働く技術者には、ウォーターフォール・モデル、スパイラル・モデル、アジャイル方法論、要求仕様工学などのソフトウェア開発方法論を身につけ、その方法論を元に、発注元の要望を要求として顕在化させ、低コストで、短期間の内に、高品質なカスタム・ソフトウェアを、各発注元のためにカスタム・メイドし、また、それを管理・運営する能力が求められる。この種の企業におけるソフトウェア技術者は、ソフトウェアをゼネコンが建築物を建設するように作るのである。産業規模としては、この種類のソフトウェア生産の大きさが、前者の「製品」としてのソフトウェアの生産・販売を遙かにしのいでいると言われる。

この後者の種類の技術を考えるとき、もう 1 つの技術力を考慮する必要がある。アメリカのソフトウェア産業界では、ソフトウェア技術者たち自身が、独自のソフトウェア開発方法論を開発し、それが各企業の競争力の源泉となり、さらには、その技術を知識として販売するということが起きている。現在の世界のソフトウェア工学のスターたちの多くは、大学の研究者ではなく、このような立場のソフトウェア・コンサルタントたちであり、それが産業に直結しているのである。これは生産技術を「販売」する生産工学のコンサルタントたち、たとえば、トヨタから独立した「トヨタ生産法の伝道師たち」にあたる。この種類の技術は、直接、製品を作り出すの

ではなく、生産技術を作り出すもののといえるので、産業規模としては小さいように見えるが、長期的には、これがソフトウェア技術の競争力の差を生み出す。

本稿では、この 3 種類の技術を、次のように (p 型) と (s 型) に分類する。

- (p 型)「ソフトウェア製品企業」(products company) が必要としている技術力で、3 種類の最初のもの。
- (s 型)「ソフトウェアサービス企業」(service company) が必要としている技術力で、3 種類の 2 番目と 3 番目を合わせたもの。

日本のソフトウェア技術力を検討するときには、(p 型) と (s 型) のどちらについて語っているかを明瞭に意識する必要がある。特に、ソフトウェア産業振興政策を考えると、その政策がどちらに重点を置くものか意識することが重要である。ソフトウェア産業が必要とする「生産機械」は、せいぜいコンピュータと通信インフラ程度であり、設備投資にほとんど費用がかからない。ソフトウェア産業は極めて労働集約的である。つまり、ソフトウェア産業最大・最重要の生産装置は「人」、つまり、技術者であり、振興策としては人材育成以外に重要な方策は考えられないのである。しかし、(p 型) と (s 型) の技術力では、それに従事する技術者のタイプが大きく異なる。たとえば、それは芸術家と企業人のように違う。実は、この 2 つの能力は相反することさえあるのである。

当然、人材育成の方策は異なる。Cusumano は文献⁴⁾で、好況、不況の波に影響されないためにはハイブリッド型の企業形態がよいと勧めているが、集団である企業は (p 型) と (s 型) 双方の能力を持

ち得ても、一人の個人が、(p型)と(s型)の双方の能力を十分に兼ね備えることは容易なことではない。そのような人材を育てるのは実に難しいのである。国の政策を考える場合には、未踏ソフトウェア事業が、大きく(p型)に傾いているように、どちらかの能力に焦点を当てて人を育てるのか、あるいは、両方の能力を1つの個人の中に育まねば、結局は必要な人材は育たないと判断し、そういう人材を育てる教育に投資するか、そういう点まで考慮する必要がある。

2 - 2

日本の技術力の分析

では、日本のソフトウェア技術能力を、この我々の分類を元に検討するとどうなるだろうか。残念ながら、両分野とも極めて弱いというのが結論である。(p型)においては、Rubyなど見るべきものが僅かながら出てきつつあるが、電子情報技術産業協会の統計¹⁰⁾に見られるように、ソフトウェアの輸出入は、およそ、100対1という超輸入超過である(図表1)。ただし、ゲーム・ソフトを除いての統計であることに注意せねばならない。

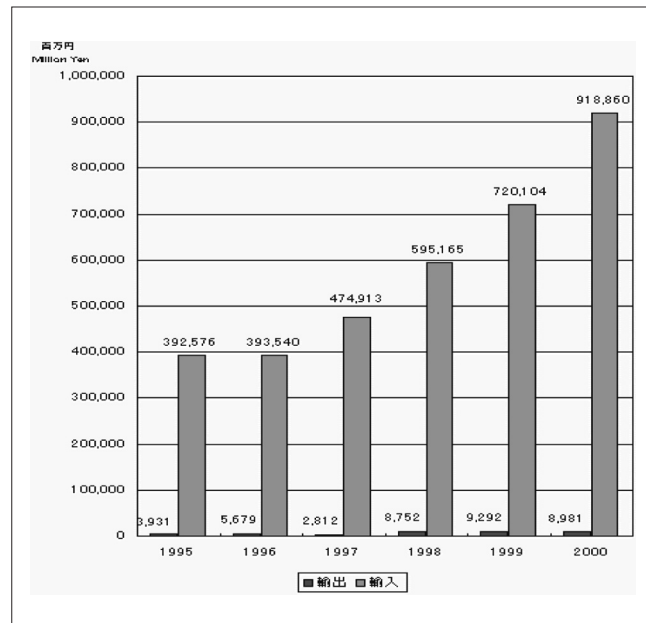
(s型)の開発法は、方法論の問題であるだけに、このような統計を使つての判断が難しい。Cusumanoが一時、日本のソフトウェア産業の形態を、ソフトウェア工場と命名して賞賛したように、この分野では、ある程度の競争力があるという意見もある。し

かし、産業としての現状をみれば、(s型)の2つの内のさらに後者、つまり、「それを教えることによりコンサルタントが商売をできるような技術力」においては、まず、ソフトウェア・コンサルタントという業種自体が、日本では確立されておらず、また、大学の研究者も、企業の研究者も、産業に直結する技術は生み出せていない。この分野では、見るべきものはゼロというのがソフトウェア工学者の偽らざる感想であろう。

ソフトウェア部門では、アメリカが圧倒的に強く、アメリカ以外は、すべて弱いともいえる。日本だけが特に弱いわけではない。しかしながら、たとえば、ヨーロッパに比較しても、日本のソフトウェア技術力は劣っている。特に(s型)の開発法においては、形式的技法^①のような基礎理論から

ユースケース^②のような現実的技術まで、ソフトウェア工学の多くの概念がヨーロッパ産であるのに比べ、これに匹敵するものが日本には全くない。日本はITに弱いといわれるが、ハードウェアに限れば、米国に次ぐ地位を確保していることに留意しなくてはならない。IT業界においては、ハード、ソフトを問わず寡占の傾向が強いことを考慮すれば、日本のITハード部門は健闘しているといえる。さらに、ゲーム機においては、ハード、ソフトとも、いまだ日本が「覇権」を持っている。これらを考慮すれば、ゲームを除くソフトウェア部門における日本の弱さは極めて特徴的だ。我々は、この事態は単なる歴史的偶然ではなく、何らかの根本的原因に起因するものと考える。

図表1 ソフトウェア輸出入統計調査



※ 2000 年度実績

<http://it.jeita.or.jp/statistics/software/2000/4.html> より

用語説明

①形式的技法

形式言語、形式論理学などを利用するソフトウェア工学の方法の総称。プログラムが仕様に対して正しいことを論理的・数学的な証明を使って保証するプログラム検証論は、形式的技法の代表的分

野である。

②ユースケース

スウェーデンの Ivar Jacobson が創始したシステム要件記述の形式(で記述された1つ1つのシステム要件の記述例)。

3. 弱さの原因は何か？

では、日本のソフトウェア技術力の弱さの原因は何だろうか。これについては、多くの異なる意見がある。おそらく原因は1つではない。しかし、我々は、その主な原因は、日本社会の「合理的思考法の弱さ」のためではないかと考えている。

3 - 1

ソフトウェアと合理性・論理性

日本社会は、合理的・論理的思考法に弱いといわれる。これは日本人論などにおいて繰り返し主張され、議論や非難の対象にもなる説である。我々は、この説に部分的ながら賛同し、そして、日本のソフトウェア産業の弱さは、この日本社会の弱点に起因すると考える。

この説とは異なり、語学力、特に英語力の弱さを原因にあげる人もいる。「知」を記述し記録し加工し伝達するための最良のメディアは、言語である。UML^③のようなグラフィカルな方法も「グラフィカル言語」という。言語とは、「知」を記述し記録し加工し伝達するための手段の総称なのである。当然、語学力の弱さは、非合理性・非論理性の原因となり、我々の説が正しければ、ソフトウェア産業の弱さの原因となりえるのである。この「言語説」も、我々の説と矛盾しないことを注意して、話を元に戻そう。

日本のソフトウェア産業とソフトウェア工学の「弱さ」は、日本人の非合理性・非論理性に起因する。では、なぜ、非合理性・非論理性が、ソフトウェア産業の弱さに結びつくのだろうか？ それはソフトウェアの本性が合理性・論理性そのものだからである。本性が合理性・論理性であるものを、非合理的・非論理的に作成しようとするのが困難なのは当たり前のことである。

では、ソフトウェアはどういう意味で合理的・論理的なのだろうか。それにはソフトウェアの本性を検討する必要がある。我々はソフトウェアの本性は、次の2つであると考えている。

- ソフトウェアはサイバー空間を支配する人工的ルールである。
- ソフトウェアは目的をもって構築される。

3 - 2

ソフトウェアと論理性 —検証—

ソフトウェアを一言で表せば「サイバー空間を支配する人工的ルール」ということができる。著名なソフトウェア・コンサルタント、A. Cockburn は、ソフトウェアを哲学者ヴィトゲンシュタインの「言語ゲーム」という概念で説明している³⁾。ゲームソフトやシミュレーション・システムを考え

れば分かるように、コンピュータの内部では現実の物理法則に反する仮想的な宇宙さえ構築可能である。コンピュータというサイバー空間においては、プログラマは物理法則をさえ創造できる「神」と化すのである。すべては人工であり、あらゆる現実的規則や法則からの自由が保障される。実際にはハードウェアの能力という大きな制約があるものの、理論上はソフトウェアの世界は論理にしか限定されない「自由な空間」なのである（我々は「論理」を広い意味で使う。たとえばアルゴリズムの効率は「論理」の中に含まれている）。

ソフトウェアは抽象数学などと同じく、概念の世界の装置であり、物理則などの「この世界の法則」に拘束されることが少ない。それを拘束するものは、概念が従うべき法則、たとえば論理法則などの少数のものに限られる。これがソフトウェアを機械装置などの他の人工物と分かつ大きな特性であり、この白いキャンバスのような世界に、（広い意味での）「論理」という絵の具で自由に絵を描くこと、それがソフトウェア開発ということなのである。

人工的ルールによる真理性（形式合理性、目的合理性）を統治するのは、広い意味での論理である。それは技術的には、数理論理学という形式系や項書換系^④などの機械的推論により体現され、それ故に、形式的検証 formal verification がソフトウェア工学・計算機科学の基礎とされるのである⁶⁾。

3 - 3

ソフトウェアと合理性 —要求工学—

この verification と対になる言葉として、使われる validation と

用語説明

③ UML

ソフトウェアの設計書に擬されるモデリング言語のデファクト・スタンダードになる可能性をもつ半形式言語。創始者の3名は“Three Amigo”と呼ばれ、I. Jacobson はその1人。

④形式系、項書換系

形式系とは三段論法のような論理を機械的規則としてまとめたもの。項書換系は形式系の一部と見なされることもあるが、論理よりは主に数学でいう式変形や計算を表現する。

いう言葉がある。日本語にしてしまうと、これは確認となり、検証とあまり区別がつかないが、この二つは大きく異なる。verification とは完成された仕様にソフトウェアが合致するか否かを確かめることである。このときソフトウェアに要求される機能を記述する仕様は絶対的な公理と考え、これを変更することは考えない。verification とは論証幾何学で公理から定理を証明するような行為であり、サイバー空間から一步も外に出ずに行える（図表2）。

一方、validation の方は、完成したソフトウェアを動作させることにより、それが仕様以前の要求、つまり、ソフトウェアが構築された本来の目的に合致するかを調べることを言う。この場合には、仕様が目的に合うかどうかチェックされる（図表2）。つまり、verification の場合と異なり、仕様は公理の位置から降ろされ、物理現象を記述する際の微分方程式のような位置に置かれるのである。ある現象を記述したはずの微分方程式の数値解を求め、それが現実と大きく矛盾してい

図表 2 Verification, validation, requirement engineering

verification	すでに何らかの方法で明瞭に記述されたシステムの必要条件を仕様というが、その仕様に対して、システムが正しいかどうかを調べること。
validation	システムが仕様作成以前の要件に合うか、あるいは仕様が、本来の要件にあるかを調べること。Verification に比べて言葉の解釈にブレがある。本稿では広い意味にとっている。
requirement engineering	開発すべきソフトウェアが必要とする要件を洗い出すための技術。特にカスタム・ソフトウェアの開発現場では不可欠の技術。

れば、数値解析に問題がなければ、微分方程式の方が間違いなのであり、それが交換される。つまり、仕様とは、目的の定式化であり、その定式化された目的と、それを解決するための「解」としてのプログラムを本来の目的に照らし合わせて、同時に検討すること、それが validation であり、verification と validation は、ソフトウェア開発の車の両輪として認識されている。

現実の validation では、目的の定式化である仕様と、プログラムの両者が同時に検討される。しかし、これはプログラムが完成したときにのみ行える。しかし、実際の開発プロジェクトで、最も恐ろしいことは納期直前に見つかる仕様のバグである。その多くはサイ

バー空間の中だけで解決されるような自己矛盾に関するものではなく、完成したソフトウェアが提供すべき機能と、本来の目的、つまり、要求との乖離によるものである。このため仕様と目的の摺り合わせ、あるいは、ぼんやりした目的を明瞭な目的に洗練し、さらには、それを最大限忠実に表現する仕様を作成することが、現実のソフトウェア開発において急速に重要度を増している。この問題を解決すべく考えられたのが、要求工学（requirement engineering、要求管理工学、要求定義工学などという）である（図表2）。この要求工学こそが、ソフトウェアの本性のもう一方、「ソフトウェアは目的をもって作成される」の目的を開発する部分である。

4. 日本のソフトウェア産業は絶望的か？

ソフトウェアの本性の「人工的ルール」の部分、すでに述べたように論理性そのものである。一方で、もう1つの本性、つまり、目的の定式化としての要求定義、それに必要な要求分析の部分は、いわゆる伝統的論理学は別として、近代的論理学が完全に放逐してしまった部分であり、これは論理ではない。この部分は、社会学者 Max Weber の（未完の）「合理性の理論」の用語で説明することがふさわしい。Weber の用語に従えば、第1の特性「人工的ルール」は形式合理性・目的合理性であり、要求工学的に第2の特性を解決することは、価値合理性・

実質合理性に基づいて、形式合理性・目的合理性の出発点を作成・検討することにあたる。つまり、ソフトウェアの本性は「合理性と論理性」からなり、それを実現するには、当然のことながら、合理的・論理的思考法が必要となるのである。

藤本隆宏は、日本の自動車産業の強さを分析した文献⁵⁾において、工業製品のアーキテクチャを「モジュラー型 v.s. インテグラル型」と「オープン型 v.s. クローズド型」の2つのパラメータ軸により4分類し、日本は自動車、ゲームソフトなどの「囲い込んでの摺り合わせ」を必要とするクローズド・イ

ンテグラル型アーキテクチャを持つ製品に強く、パソコン、パッケージソフトなどのオープン・モジュラー型の製品には弱いとした。

藤本の説は設計・製造という行為を「情報の転写」としてとらえる「設計情報転写説」という理論に基づいており、たとえば自動車のボディのプレスを鋼板への形状という情報の転写と考える。そして、日本が得意とするのは製品が鋼板のような「書き込みにくい媒体」の場合だとする。この部分の藤本の議論は不明瞭な所が多いが、要するに「書き込みにくい媒体」に優れた転写を行うには「作り込み」が必要であり、そのため

に細部へのこだわりや芸術的な技術が必要な「囲い込んでの摺り合わせ」能力が製品の品質に直結するという主張である。

藤本の「情報の転写」という言葉を使えば、要求工学は、暗黙知という情報を形式知という情報に転写することであり、仕様に基づくプログラムの開発とは「形式化された目的」である要求を実行可能なプログラムの形式に転写することにあたる。また、サイバー空間は、論理以外の制約を受けないという点において、究極の「書き込み易い媒体」である。つまり、合理的・論理的にプログラミング言語などの形式言語で「ソフトウェア設計情報」を記述すれば、実は、すでにそれが製品なのである。自動車の場合のように、さらに、それを鋼板に転写するというよう

な工程は必要ない。つまり、「設計イコール生産」に近いといえる（実は、そうではなく、「設計」が多段階となるので、これはあくまで比喩である）。

藤本は、日本のソフトウェア産業の国際競争力のなさを、「日本の技術は情報転写が容易な分野では弱い」という説で説明している。ソフトウェアという製品は、記憶媒体に書き込むだけで転写できるのである。「ソフトウェアは合理と論理だけの存在である」という我々の分析と、「ソフトウェア分野は書き込み易い媒体を対象とする」という藤本の分析は、ほぼ同じことを主張していると言えるだろう。我々は、組み立て方に注目し、藤本は組み立てたものの書き込み方に注目したのである。

もし、日本人は本来、その文化

の根底から非合理的・非論理的であるという説が正しく、かつ、我々のソフトウェアは合理性と論理性の結晶であるという説が正しいとしたら、日本のソフト産業の弱さの理由は文化的なものとなり、日本がその文化を変更しない限り、日本のソフトウェア産業は永久に浮上しないという結論になる。また、我々とは全く独立に、媒体への転写という異なった視点を使い、生産工学の立場からなされた藤本の日本のソフトウェア分野の弱さの原因分析との合致は、この結論をサポートするかのように見える。さらには、ソフトに限らず、これが「失われた 10 年」の原因ではないかと結論したくなるころである。

5. アジャイル法という逆説

しかし、現実には、そのように単純ではない。藤本は、現在、リーン生産法と呼ばれ、世界に普及している日本発の生産法、つまり、トヨタ生産法がアメリカで「発見」されたのは「失われた 10 年」の間であったと指摘している⁵⁾。しかし、この時期に、アメリカが発見した「日本的」なものは、生産工学だけではなかった。

日本的生産法の強みの発見より僅かに遅れて、ソフトウェア工学の最先端国アメリカで流行し始めた、アジャイル法と呼ばれる一群の新開発法があった。それらは、もともとは生産工学における日本的手法の発見とは関係なく、カスタム・ソフトウェアの開発現場における現実に対処するために生まれてきた。

従来のソフトウェア工学の常識では、ソフトウェアを開発するには、まず、綿密な計画を練り、それ以後は、計画を変えることは悪とされた。また、仕事の内容は、

モジュール化し、分散し、それぞれのモジュールのインターフェースは、詳細な「契約」により記述されるべきだとされていた。この前提は、あらゆるソフトウェア工学の基礎であり、これを逸脱するものは「悪」とされていた。そして、ソフトウェア工学とは、悪が横行する現場を如何に教化するかということでもあった。

しかし、アジャイル法は、その根底的原理を、現場での生産性の高さと品質の高さという現実により見事にヒックリ返してみせたのである。これは重量的計画的生産方式で凝り固まっていたデトロイトにトヨタ生産方式が与えたショックに似ている。しかし、ソフトウェア工学では、ショックは外からではなくアメリカの内部から起きた。

これらの技術は、従来のソフトウェア工学の常識を完全に覆すものであるため、その内の、もっとも有名なものは、eXtreme Programming「過激プログラミ

ング」とさえ自称する。現在、XP という名前で知られ、この 1、2 年で、アメリカのみならず、日本でも大流行し始めている技術である。アジャイル法に分類される方法論には、XP の他に、Scrum、Crystal、Adaptive software development method などがあり、最近のものとしては、Lean Software Development が知られている。現在、世界のソフトウェア産業は、従来の技術の思想を根底から覆すかのような、この技術思想といかに付き合うべきか苦闘している。

これらの方法は、10 数名程度までのプロジェクトならば、凄まじく迅速で柔軟であると言われる。この方法の創始者たちは、その技術を、Iacocca 研究所が提案した生産工学の手法を真似て、アジャイル(agile)と呼んだ。その名前は、医療産業、自動車産業などにおける、エンドユーザーの要望とその変化に柔軟で迅速に対応するため

の方法論からきているのである。

そして、このアジャイルが、日本発の生産方式、経営学と堅く結びついていることが、この数年、アメリカで主張され始めたのである。最も典型的なのは、Mary Poppendieck が主唱する、Lean Software Development であろう。この方法論のモノグラフ⁸⁾には、Ohno (大野耐一)、software kanban などのトヨタ生産法に関連する人名や用語が使われており、導入部からしてトヨタの話から始まる。また、Scrum という方法論は日本発の経営学で著名な野中郁次郎の著作による名前である。さらに、アジャイルのスターとでもいえるべき、Kent Beck は、XP の国際会議 XP2003 のパネルで、XP の中心的技術である Test Driven Development におけるテストケースをリーン生産法の「無駄」の概念を使って論じている¹⁾。

一時、マスコミで喧伝された「IT 産業＝次の時代の新産業」、「機械工業＝滅び行く旧産業」、そして、「新産業という時代の波に乗った国＝アメリカ」、「旧産業にしがみつき時代の波に乗り遅れた国＝日本」という単純化された、「勝ち組 v.s. 負け組」の理論からすると、

負けたはずの日本の旧来型の自動車産業などに起因する知恵が、勝ち組アメリカの、その勝利の象徴であるはずの IT 産業の中心的部分において、最新の知恵として称揚されていることになる。まさに逆説的である。

このアジャイル法が、どれだけ「日本的」であるか、少しではあるが、具体的に説明しておこう。XP では、完結した仕様記述は悪であるとされる。仕様と、その実装という 2 重構造のメンテナンスが開発の効率を阻害すると考えるからである。詳細な要求を書き、綿密な Plan を立ててから始める開発法を、up-front (先払い) 開発法という。触先、つまり、開発初期にコストの多くを投入すべきだという、この考え方では、時間軸を横軸としてコストのグラフを書くと、触先、つまり、開発初期のグラフがピンと上を向く。これを称して up-front というのである。

アジャイル法では「システムは非線形であり創発的あり、また、顧客の気持ちや環境は変わるもの」と割り切って勇気をもって変化と対峙するという方法をとる。これは、藤本がトヨタの思考法の持つ合理性として指摘した「事後

合理性」そのものである (up-front は、藤本の「事前合理性」に対応する)。

XP はツールに重きを置かない。実は、XP には仕様記述が巧妙に組み込まれており、しかし、それが極力「軽く」あるように仕組まれている。そのために、特殊なツールに依存することは避け、ツールはコンパイラだけにとどめるように示唆される。また、仕様記述にあたる CRC というテクニックが使われるが、これは、単純なフォーマットを印刷した紙のカードである。これはデトロイトの重いコンピュータによる生産在庫管理と、カンバン (これも紙) によるトヨタの方法の対比を思い起こさせる。

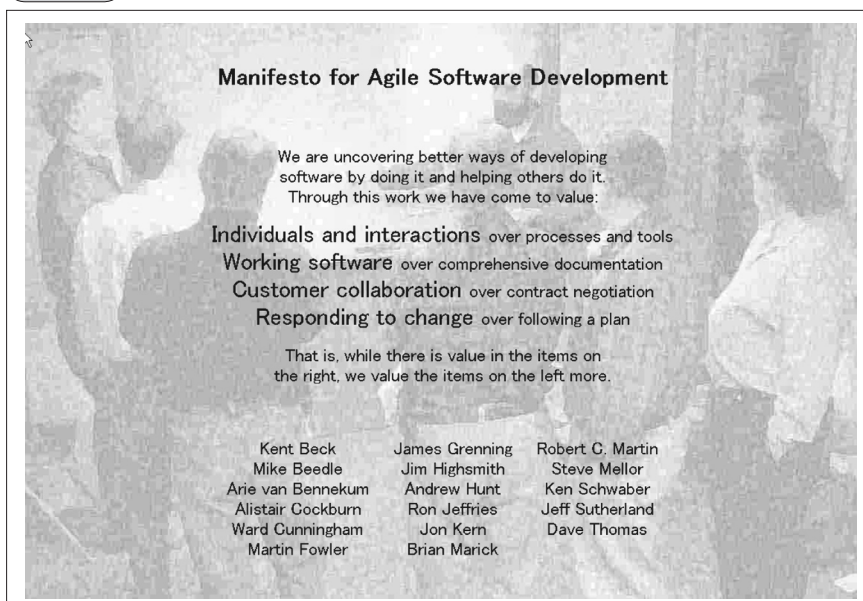
アジャイルでは、個人プレーよりチームプレーが重視される。XP では、プログラミングさえ、必ず 2 人 1 組でやることになっている。仕事場が個室でなく大部屋であることは当然である。その方が他のメンバーの議論が耳に入るのでよい。メンバー全員がプロジェクトの全体を理解すべきなのは当然である。

アジャイルでは決定は先延ばしにするべきだとされる。もちろん、問題を先送りせよというのではない。現時点では決定が困難・不可能な事項を無闇に決定してはいけないという考え方である。

アジャイルでは顧客との連携を重要視する。“The Customer is God”、「お客様は神様です」というフレーズは、アジャイルではちょくちょく耳にするフレーズである。あげくの果ては顧客をプロジェクトのメンバーとして常駐させ、変更や先延ばしにしていた決定が必要となったなら、その場で顧客に決定と指示を求めるというオンサイト・カスタマーという技法さえ使われている。

アジャイル法と「日本的」思考法の類似性は、これだけではなく、

図表 3 アジャイル・マニフェスト



<http://agilemanifesto.org/> より

その同型性は気持ちが悪いほどである。そして、この「日本の方法」との同型性が、アジャイル法の創

始者達に意識され始めたのは、アジャイル法の評価が定着した後であるということは、これが「日本

趣味」の結果でないことの何よりの証拠である。

6. 象性と猿性、そして、その融合

このアジャイル法は、優秀なプログラマ、特に、「UNIX 文化」という名で知られる特定の思考法を行うプログラマたちには、現実的方法として理解されやすい反面、従来の up-front の思想で教育を受けた技術者には、おおきなとまどいになっている。スパイラル・モデルの提唱で著名な B. Boehm は、この状況を解決すべく、2004 年の初頭、up-front の持つ discipline と agility の関係を明らかにすることを目的として“Balancing Agility and Discipline”²⁾を発表した。この著書は、象と猿の逸話で始まっており、これが見事に agility と合理性の関係を示している。その逸話を要約してみよう。

ジャングルの辺の村に 1 匹の象が住んでいた。象はジャングルから村人の食料としてバナナを採っては運び村人に感謝されていたが、ある日、1 匹の猿がやってきて見たこともない珍しい食物を村に運び始めた。バナナに飽きていた村人は、猿の仕事を大層喜び、象はいつしか忘れられてしまった。しかし、村の人口が増えるに従い、小さな猿で村人の需要をまかなうことはできなくなった。村

人の批難を浴びて困った猿は、忘れ去られて寂しく暮らしていた象を訪ね、身軽な自分が珍しい果物と見つけるので、象の力で、それを大量に運んでくれないかと頼んだ。こうして珍しい果物を大量に提供できるようになった象と猿は幸せに一緒に暮らした。

Fordism^⑤、Taylorism^⑥、up-front 開発のような、事前の入念な計画を主とするシステム合理性に基づく方法が象である。一方で、アジャイル開発、トヨタ生産方式、などは身軽で迅速な猿なのである。Boehm は、象と猿の逸話のように、agility も、up-front 的 discipline も、ともに重要であると結論したのである。これはアジャイル法の現実的成功への妥協、非合理性への合理性の妥協なのだろうか。実は、そうではない。

合理性に多くの型（タイプ）があることは、社会学の前提と言ってもよい。その合理性の多様性を指摘した Weber の著作の中に、up-front 的な Systematiker（システム構築者）の合理性と、不断の近似改善により漸進的に現実に適応しようとする合理性が対比されている箇所があることを、社会学者の矢野善郎¹¹⁾が指摘している。

前者は、藤本が事前合理的と呼ぶ、Fordism、Taylorism の合理性であり、後者は、藤本が事後合理的と呼ぶ、アジャイルやトヨタ生産法の合理性なのである。つまり、象と猿の逸話は、合理と非合理の妥協ではなく、象の持つ合理性「象性」と、猿の持つ合理性「猿性」の融合の物語なのである。

生産工学の専門家によると、Lean^⑦、Agile^⑧、TOC^⑨などの新しい生産方式は、実は Fordism、Taylorism が基本単位のミクロ部分を担い、いろいろな目的に合わせて、それを様々に組み合わせたものであるという。ソフトウェア工学でも同じことであり、アジャイル方法論を子細に分析すると、実は up-front の基礎理論と同じ仕組みがしっかりと組み込まれていることがわかる。たとえば、XP の主要部分である TDD には up-front 開発の基礎とされるホーア論理学に基づくプログラム開発法が巧妙に組み込まれているといえる⁷⁾。

現代の社会は非常に複雑であり、また、猛スピードで変化する。これに合理的に対処するには up-front だけでは不可能であり、社会学や哲学でいうリフレクシ

用語説明

⑤ Fordism

Henry Ford による大量生産方式。フォード生産方式。

⑥ Taylorism

科学的管理法ともいう。生産方式、作業方法などを科学的に分析し、生産性を高める方法で、日本の TQC 運動の祖先。米国の技術者 Taylor が提唱した。科学における rationalism が終わったところに始まった技術における rationalism の魁という、思想史的意義も大きい。

⑦ Lean

リーン生産法。トヨタ生産法を米国 MIT で体系化したもの。無駄の除去に特徴がある。

⑧ Agile

Lean と関連があるが、こちらはもともと米国産の生産法。無駄の除去よりは柔軟性と迅速性、つまり、変化への対応に力点がある。

⑨ TOC (Theory Of Constraint)

E. Goldratt が提唱した生産管理方式で Lean と類似しているが、システム全体のパフォーマンスに力点を置く。

ン、藤本の言う事後合理性が必要なのである。あまりに複雑な「やってみないとわからない」という事が増えている。しかも、解を与えた途端に、その解の故に最初の要求が変わるというのは、ソフトウェア開発者が「ソフトウェア開発の難しさを理解しないユーザー（発注者）」に対して常に持つ不満である。しかし、これを「ユーザーが悪い」とすることはできない。そういう無理難題とも思える要求にさえ対処する必要がある、それに対処できないものは、競争に敗れるのである。

実は現実的 up-front 開発の代

表である、UML ベースのモデリングの研究を通して、分かりつつあることは、要求仕様の獲得としてのモデリングにおいて、最も効率的に要求を集める手法の1つはアジャイル法を使うことなのである。これは象性と猿性の融合そのものである⁷⁾。

以上の解説が、日本のソフトウェア産業を考えるとときにもたらす教訓は明らかだろう。日本企業が発揮した猿性は合理性なのである。それは Taylorism などに代表される象的合理性とは別種の合理性なのだ。そして、Taylorism、Fordism が世界を席卷したところと

異なり、現代は象的合理性と猿的合理性の両方が同時に求められているのである。そのために象性の国アメリカは、日本の猿性に学んだのである。日本は確かに事前合理的な Systematiker の合理性、つまり、象性に欠けるのかもしれない。しかし、現代社会が2つの合理性を要求し、しかも、そのひとつは日本発の普遍的な合理性であるとしたら、我々は、すでに半分を持っている。アメリカが猿性という「半分」を学んだように、我々は象性という「半分」を学ばばよいのである。

7. 結論

日本のソフトウェア産業の規模は大きい。銀行のオンラインシステムなどのカスタム・ソフトウェアの売り上げは巨大だ。その市場は「言語障壁」、「文化障壁」にまもられたドメスティックなものである。しかし、最近話題になっている新生銀行のシステムの例にみるように、インド人技術者などの進出はめざましく、さらに中国人技術者が大量に日本に入るようになれば、このドメスティックな産業が海外資本に席卷される可能性は否定できない。

また、もし、そうならなければ、それは常に日本の情報システム、特に、これからの社会の競争力を決定する重要な要因となる情報システムの性能において、日本が米国、ヨーロッパ、アジア諸国の後塵を拝することになり、結果として日本社会の競争力を著しく低下させることになる可能性もある。そして、その兆候は各所にある。

この状況の原因は単純ではなく、その根は、現代日本社会が持つ特有の思考法、特に、合理性・論理性への無知と誤解からくるものである可能性が高い。その原因は明治以来の社会システム、特に

教育システムに起因する可能性が高い。我々は、この観点から、研究を進めているが、本論説では、その視点からソフトウェア産業の内、特に、技術的な側面であるソフトウェア工学についての分析を行った。

7 - 1

象性の補填と猿性の促進

我々の結論は、「ソフトウェア開発に必要とされる2つの合理性の内、象の合理性を補填する必要がある」というものである。その際、すでに日本社会がもっている猿性を顕在化し、それを保持しつつ、改善し、象性と融合する必要がある。

従来のソフトウェア工学では象性のみが重視され、猿性が軽視される傾向があった。しかし、真の解は、それらの融合であることが、ソフトウェア工学の最前線で明らかにされつつある。また、この思想は、ソフトウェア工学を超えて、「生産」、「設計」に関連する実に多くの分野で有用であることも分かっている。ソフトウェア工学におけるアジャイルが、生産工

学や経営学という、常識的には設計や生産の形態が全く異なる分野のアイデアから大きな影響を受けていることは、その1つの証拠であろう。

外来の手法を「公理」のように拝聴するか、それらを「非現実的」と断じて、一方的に無視する両極端の立場が横行することが多い我が国の状況からすると、「融合」が解である場合、この両極端しかとらない思考法が、その競争力の根源的弱点になりかねない。たとえば、日本のソフトウェア技術者には、猿性を非合理的とみなして、一方的に攻撃し、自らの社会の利点をつぶす、あるいは、卑下する傾向がなかったであろうか？

猿性、そして、猿性と象性の融合こそが、ソフトウェア工学の要であるという思想が認識し始められた今こそ、日本のソフトウェア工学を世界水準に高める絶好の機会なのである。トヨタの秘密はリーン生産法の理論形成の後も、いまだに完全には解明されてない。たとえリーン生産法を採用しても、トヨタと同じ生産効率に達している自動車会社は、世界のどこにもない。そし

て、トヨタ自身でさえ、その方法の全貌はつかみきれていないという⁵⁾。我々は、そのトヨタと同じ文化に属す。光は足下にある。これを生かさなないことこそ最大の非合理だ。それによって世界に追いつくだけでなく、追い越せる可能性さえ否定できないのであるから。

7 - 2

政策割り出しのための研究

象性と猿性の融合が提唱されている現在は、日本のソフトウェア産業が、世界のトップに躍り出る絶好の機会である。この機会を生かすには、まず、少なくとも次の3つのタスクを実行し、必要な政策を割り出し実行する必要がある。

- ① Boehm の象性、猿性の観点から、ソフトウェア工学とトヨタ生産法などの生産工学の手法の徹底的研究を行い、それに基づいて日本のソフトウェア産業と、自動車産業などの比較研究を行い、ソフトウェア産業の構造的問題の解明を行う。
- ② 日本が強いといわれるゲームやモバイルにおける日本の技術力が、我々の理論の反例になっていないかを検討する。
- ③ 本来、全く異なった生産の形態の例とされていた自動車生産とソフトウェア生産の背景に潜む同型性を解明し、これらを他工学分野や経営学などにも及ぼす。つまり、これらの工学における「生産」、「設計」という問題の上部構造を解明し、その理論を構築する。

この3つについて、少し詳しく説明しよう。ソフトウェア産業への即効性を考えれば、最初の2つが重要である。どちらも、自動車とゲーム、モバイルという、我が国が強い分野の研究であり、特

に自動車の場合、多くの研究が存在するので、一挙に研究が進む可能性が高い。Cusumano や藤本の分析も、この分野は避けて通っているといえる。生産工学との比較研究は、従来なかった観点であり、また、比較対象となるカスタム・ソフトウェアの生産現場は、比較的、政府の施策からはずれていた分野でなかったかと推測する。その意味で、新たな、施策が効果を上げる可能性は少なくない。この研究には、藤本の情報転写説に基づく研究が重要な導きの糸となるだろう。

ゲームと、モバイルの2分野に日本が強い競争力を持つことは、我々の理論への強力な反論の論拠たりえる。この事実と妥当な説明を与えられない間は、我々の理論は、いまだ砂上の楼閣にすぎない。しかし、我々が主な議論の対象としたカスタム・ソフトウェア分野と、これら2つのIT分野が大きく異なることは、ユーザーがシステムとやりとりする論理的情報量が、この2分野では、通常のPC等と比べて極端に少ないことから推測することができる。この2分野の競争力の強さを説明できるようになったとき、我々の結論は、極めて強固な基礎を得るだけでなく、我々の理論に新たな展開があるものと推測している。

携帯電話の場合、初期には日本製製品のインターフェースは、明らかに場当たりのであり、ソフトウェア設計の原則をふまえたNokiaなどの海外製品に比べて劣っていたが、これが急速に改善されている。また、一方で、ゲーム・ソフトウェアの生産はアメリカにシフトしつつあるとも聞く。これらの変化の原因を追及することが、この研究の糸口となるだろう。

最後の「上部構造の解明」であるが、将来へのインパクトを考えれば、これが最重要である。スウェーデン・Telelogic社では、要求

開発プロセスを、カスタマー、サプライヤーの重層構造という、サプライ・チェーン的な発想で捉えている¹²⁾。また、逆に、藤本⁵⁾は生産を設計情報の転写と考える。これらは、本来、全く関係ないと思われていた分野が深く関連しており、理論的にも、それを解明できる可能性を示唆している。設計と生産という2分法を廃棄する必要がある可能性も捨てきれない。

7 - 3

考えられる政策の方向

この「猿性と象性の融合プロジェクト」の最終段階は、日本のソフトウェア教育・情報教育、というより、あらゆる教育の方法の根本からの改革に結びつく可能性が高い。その改革は、学校の改革ではなく、社会の改革が、学校に及ぶ形である必要がある。

日本のソフトウェア能力の根源的問題点は、日本社会が持つ「黒か白かの極端思考法による脆弱な思考力」による可能性が高い。また、情報システムをすぐにコンピュータやソフトウェアを発注したり購入したりすることとしか理解できないという「情報」という概念への無理解も大きな問題である。

しかし、このような思考方法の抜本的改革を、学校システムの政府主導の変革のみに求めるやり方は、失敗する可能性が高い。学校システム、教育システムの変革は、社会の側から湧き起こるべきであり、この形態であってこそ、このような改革は可能だろう。そのためには、政策割り出しの研究の終了をまっけて、社会における象性能力の開発と普及などというup-front的な計画はとるべきでなく、研究途上において、生産現場、そして、教育現場において、研究によって得られた成果を次々と適用し、その問題点をさぐるという方法が必要である。つまり、情報

技術者をカスタマー、情報技術者を生産する教育機関をサプライヤーとみなし、これ自体に、トヨタ生産方式のような生産工学的発想を適用するのである。教育機関と、その「生産物」たる人材を受け入れる企業・社会をサプライ・チェーンの発想で見直すのである。

社会は大学等に積極的に必要な人材像を提供し、また、大学は、その人材像を大学に提供できるような人材を育て社会に提供する必要がある。どちらかが先ではなく、両者が同時に改善されなくてはならない。そして、上記の①～③の研究は、その中で同時に行われる必要がある。教育システムの抜本的改革は、これらのタスクが行われる中で自然発生的に起こるべきことである。

この改革は国が主導して行うべきことではなく、市民の側から湧き起こるものでなくてはならない。しかし、それを国が助けることは可能であろうし、また、その種を撒くことは可能である。その一つの方法としては、現在決定的に不足している「良いカスタマー」を育てる教育がある。これはCIOを育てる教育と言ってもよい。しかし、おそらく産業界でも、「良いカスタマー」やCIOは、どのような人物であるかという明確なイメージはないだろう。まして、その教育体系など現在の日本の大

学にはない。この両者を、双方からの要求に基づいて、同時に育成する。おそらく、これが現在なすべき最も重要な政策であろうと考える。

参考文献

- 1) A panel at XP 2003, Test Driven Development (TDD), Steven Fraser, Kent Beck, Bill Caputo, Tim Mackinnon, James Newkirk, Charlie Poole
<http://www.xp2003.org/panels/fraser.html>
- 2) Barry Boehm and Richard Turner: Balancing Agility and Discipline: A Guide for the Perplexed, 2004、翻訳:「アジャイルと規律～ソフトウェア開発を成功させる2つの鍵のバランス～」、ウルシステムズ株式会社、2004
- 3) Alistair Cockburn: Agile Software Development. 翻訳:「アジャイルソフトウェア開発」、ピアソン・エデュケーション、2002
- 4) Michael Cusumano: Strategy for Software Companies: What to Think About, An invited talk at XP 2003: <http://www.xp2003.org/keyspeeches/cusumano.html>, cf. Michael Cusumano: The Business of Software: What Every Manager, Programmer, and Entrepreneur Must Know to Thrive and Survive in Good Times and Bad, Free Press, 2004
- 5) 藤本隆宏: 能力構築競争—日本の自動車産業はなぜ強いのか—、中公新書 1700
- 6) 林晋: プログラム検証論、共立出版、1995
- 7) Susumu Hayashi, Pan YiBing, Masami Sato, et al.: Test Driven Development of UML Models with SMART Modeling System, to appear in the proceedings of UML 2004.
- 8) Mary Poppendieck, Tom Poppendieck: Lean Software Development: An Agile Toolkit for Software Development Managers
- 9) James P. Womack, et al: The Machine That Changed the World: The Story of Lean Production
- 10) 電子情報技術産業協会: ソフトウェア輸出入統計調査 2000 年実績、平成 14 年 7 月 31 日:
<http://it.jeita.or.jp/statistics/software/2000/>
- 11) 矢野 善郎: マックス・ヴェーバーの方法論的合理主義、創文社、2004
- 12) Elizabeth Hull, Ken Jackson, Jeremy Dick, Requirements Engineering, Springer-Verlag, 2002.

.....

特集②

材料データベースの課題と将来展望
—世界で使われる材料データベースを目指して—

客員研究官 八木 晃一

1. はじめに

人は、新しいことをはじめようとするとき、まずそのことを調べ、情報を得ようとする。身近な例を挙げれば、旅行するときに、ガイドブックを購入し、目的地の観光情報を得、目的地でのホテルの状況やレストランでの食事、買い物などのやり方など、さまざまな情報を手に入れて旅立つことであろう。

新しい材料を開発する場合も、どのような素材をどのように組み合わせ、どのようなプロセスを使って作るかについての情報や、時にはシミュレーションのためのデータを必要とする。また、新しい材料を製品に使用しようとする場合も、製品が機能を発揮し、要求どおりに働く材料を選択するために、材料特性についての情報やデータが必要となる。このため、材料に関する情報やデータは製品作

りの基であり、必要不可欠なものである。

わが国の科学技術基本計画¹⁾において、科学技術振興のための知的基盤の整備が取り上げられており、研究用材料、計量標準、計測・分析・試験・評価方法およびそれらに関わる先端の機器、またこれらに関するデータベース等の戦略的・体系的な整備を促進することが述べられている。これを受けて、科学技術・学術審議会の技術・研究基盤部会の知的基盤整備委員会では「知的基盤整備計画—2010年の世界最高水準の整備に向けて—」の答申²⁾を出し、具体的方策を定めている。

材料の情報やデータの整備の重要性はこれまでもさまざまな機会に指摘されてきた。そして指摘される事項や問題点は常に同じよう

なものである。しかしながら、解決の方向が見出されているように思われない。これには、根本的に解決できない問題や、解決のために乗り越えるべき障壁が高いため、に生じる問題など、さまざまな課題が交錯して複雑になっているからかもしれない。ここでは、材料データベースの現状における問題点を指摘し、その解決のために何を行うべきか、また材料データベースは何を目指すべきかを指摘したい。

なお、ここで扱う材料とは、単なるものとしての物質ではなく、製品に使われるものを対象とする。また、純物質の物理・化学定数のようなデータでなく、実用(工学)材料の情報やデータを対象とする。

2. データベースの問題点

2-1

見えないデータベース

知的基盤整備委員会から出されている「知的基盤整備計画(答申)のフォローアップと見直し」³⁾によれば、研究機関や大学で構築されている材料データベース(公開

可のもの)は128件で、2002年度よりも30件増加しているとのことである。また、材料物性データベースのデータ数は約980,000件で、これも180,000件増加しており、産業技術総合研究所(AIST)、物質・材料研究機構(NIMS)、科学技術振興事業団(JST)等で整備されているという。このような

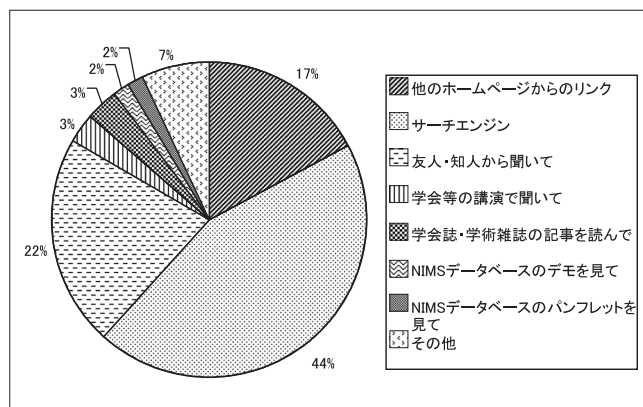
実態であれば、材料データベースの構築は毎年進んでおり、問題は少ないのかもしれない。

わが国の学術情報のデータベースの実態は国立情報学研究所(NII)において調査されており、その調査報告が毎年出されている。この調査報告書を使ってわが国の学術情報データベースがどの

ようなものか調べてみた。ここでは2002年度の報告書⁴⁾を使って簡単な再調査をした結果をご報告したい。工学の項目に整理されているデータベースから、材料に関するデータベースと思われるもの30件を抽出した。そのうちの5件はNIMSのものである。NIMSのデータベースを除く25件のデータベースについてインターネットで検索し、情報が得られたデータベースは12件であり、残りの13件はデータベースについての情報がデータベースを発信している所属機関・研究室のホームページからも得られなかった。情報が得られないデータベースの発信源の大半は大学が作成しており、大学の研究者が公開しているとしているデータベースは見てもらうことを意識していないようである。

図表1はNIMS物質・材料データベースのひとつである高分子データベースのユーザーがこのデータベースを知ったきっかけを登録時に聞いたものである。調査は新規の登録者を対象としている。国内の登録者のうち、検索エンジンで知った人が44%で最も多く、友人・知人から聞いて知った人が22%、他のホームページからのリンクで知った人が17%、学会等の講演を聞いて知った人が7%となっている。海外からの新規登録者の場合、結果は当然予想できるように、検索エンジンで知った人が72%、他のホームページからのリンクで知った人が12%であった。このように、多くのユーザーはインターネットの検索を利用してデータベースに入ってくる。最近では、一般家庭でも情報を得る方法として汎用の検索エンジンを活用している。研究者がまず始めに検索エンジンを使って情報やデータの所在を捜すことは当たり前であろう。NIMSでのデータベースの登録ユーザー

図表1 国内登録ユーザーが高分子データベースを知ったきっかけ



※ NIMS 物質・材料データベースのひとつ

の調査結果はその傾向をよく表している。

国立情報学研究所での情報をもとにした再調査結果は何を物語っているのでしょうか。汎用の検索エンジンである yahoo や google などを使って「材料」「データベース」のキーワードを入れた時に、国立情報学研究所の報告書に記載されている材料に関連するデータベースはほとんどヒットしない。キーワードが適当でないことが原因しているかもしれないが、公開はしているもののユーザーを意識したデータベースになっていないことが想像される。つまり、仲間以外のユーザーが使うことを前提とした材料データベースの公開ではなく、個人的なデータベースを単に公開と称しているにすぎない。これまでのデータベースは材料研究者が自らのために、自らの思いで作成したデータベースが多く、一般ユーザーから見えるように作られていない。しかし、データベースを公開するのであれば、使えるデータベース、使ってもらえるデータベース作りを目指すべきであり、ユーザーから見えるデータベース作りを心がけるべきである。そしてデータベースは一般に公開され、使われてこそ意味を持つことを認識すべきである。

2 - 2

わが国のデータベースは継続のために苦勞している

(社)日本アルミニウム協会と(財)金属系材料研究開発センターが実施した非鉄金属材料のデータベースの整備「材料分野の知的基盤状況調査」の報告書⁵⁾の中で、非鉄金属材料のみならず材料データベースの状況が1999年に調査されている。そして、その報告書の中では、材料データベースとして有用であり活用が望まれるデータベースが推奨されている。推奨された材料データベースとしてわが国のものが8種類、海外のものが9種類ある。選択は、調査に参加したメンバーとの関連からかなり恣意的であると感じられるものもあるが、5年後の結果は我が国のデータベースの問題点を表しているのので記したい。わが国の場合、5年後の現在、2種類のデータベースが休止し、3種類はNIMSから発信(JSTから移管したデータベースを含めて)、3種類が法人および大学から継続して発信されている。他方、海外の場合には、推奨された9種類のデータベースが現在も健在である。

上記の知的基盤整備委員会の答

申でも指摘され、またこれまでもたびたび指摘されているように、わが国のデータベースは育たずに消えてしまうものが多い。これは、わが国の場合、データベースの開発は研究予算として手当てされ、開発資金は確保されるが、開発後の維持費用が確保されにくいために、研究の予算が途切れてしまうと維持できなくなるためと思われる。上記の休止したものはその例である。しかし、開発したデータベースの全てについて維持費用を確保するには大きな予算が必要であり、維持のための予算が

出にくいのはある程度やむをえない。このため、データベースを維持することに対して知恵を出すことが必要である。

材料データベースの多くで継続が難しい理由としてはもう一つ考えられる。それは先に述べたように、材料データベースの開発が研究の一環として行われるために、担当する研究者の思い入れが大きく、自分の持ち物としてしまい、手放せないことであり、それが組織での対応を難しくしている。また、データベースの作り方も開発を担当した研究者の独自性が強く、

継続して受け入れた研究者を困らせている。このことから、材料データベースの開発は、開発段階から組織的な対応で進め、継続する段階では組織で受け取れるように工夫することが必要である。国民の税金で開発したデータベースは社会に戻すことを研究者に普段から十分教育しておくことが重要である。なお、データベースの開発は担当する研究者の能力と努力に負うところが大きく、これに応えるために担当する研究者に対する評価が工夫されるべきである。

3. わが国の材料系のデータベース

3 - 1

NIMS 物質・材料データベース

NIMS では、旧金属材料技術研究所の時代から開発し公開してきた材料データベース、構造材料データシートを電子化したデータベース、および JST から移管したデータベースを合わせて NIMS 物質・材料データベース⁶⁾として 2003 年 4 月に公開を開始した。NIMS 物質・材料データベースの活動は NIMS の中のひとつのユニットで

ある材料基盤情報ステーションの業務として行われている。NIMS では、1966 年以来クリープや疲労のデータシート作成を業務としてきているが、その業務の進め方は組織で対応してきており、ISO9001 に従って品質管理が行われている。データベース作りの体制はこの構造材料データシートの取り組みに準じて進められている。

NIMS 物質・材料データベースは図表 2 に示すように 11 種類のデータベースから構成されている。NIMS 物質・材料データベ

スには、①自ら試験データを取得してデータベースとしているもの（構造材料データシートの電子化：クリープ、疲労、腐食）と、②文献からデータを取得しそれを専門家が吟味してデータベースとしているもの（高分子 DB、拡散 DB、超伝導材料 DB 等）がある。クリープデータや疲労データは世界で唯一の信頼性の高いデータであり、また高分子データも文献から収集されたものであるが、基本的な考え方に則って収集されたデータである。このため、これらの

図表 2 NIMS 物質・材料データベースの概要

データベース	内容	データの数 (2004 年 6 月現在)	
構造材料	クリープ、疲労 (腐食、宇宙関連材料)	クリープおよび疲労データシートの PDF 版 (クリープ: 50 冊、疲労: 96 冊)、ファクトデータ	
基礎原子力材料	核変換、中性子照射	機械的特性	約 15,000 件
压力容器材料	Cr-Mo 鋼の強度特性	強度特性	約 4,800 件
鉄鋼材料熱履歴	溶接用 CCT 図	溶接 CCT 図	370 鋼種
高分子材料	物性、辞書機能	ポリマー 物性ポイント	約 10,000 件 約 100,000 件
結晶基礎	結晶構造、X 線回析	結晶構造 X 線回析	約 27,000 件 約 27,000 件
計算物性	電子構造、元素特性	電子構造	約 160 件
拡散	金属・合金・金属間化合物等の拡散情報	拡散係数	3,500 件
三次元状態図	合金の状態図		5 種類
超伝導材料	超伝導特性	超伝導材料の特性	約 30,000 件
強磁場工学	低温における特性	熱物性・超伝導特性	約 10,200 件

データベースは極めて専門性が高く、豊富な内容を有している。そして、専門家にとっては有用な情報になっているが、専門外のユーザーには使いこなすことが難しく、中小の企業等の技術者からは解説の要望が出されている。

図表3はNIMS物質・材料データベースの登録ユーザー数と利用状況である。ユーザー登録者は、2004年7月末で約13,800名（国内；約10,600人、海外；約3,200人）である。この登録ユーザーの60～70%が企業の研究者や技術者であり、構造材料データベースや高分子データベースのような専門性の高いデータベースでは約8割が

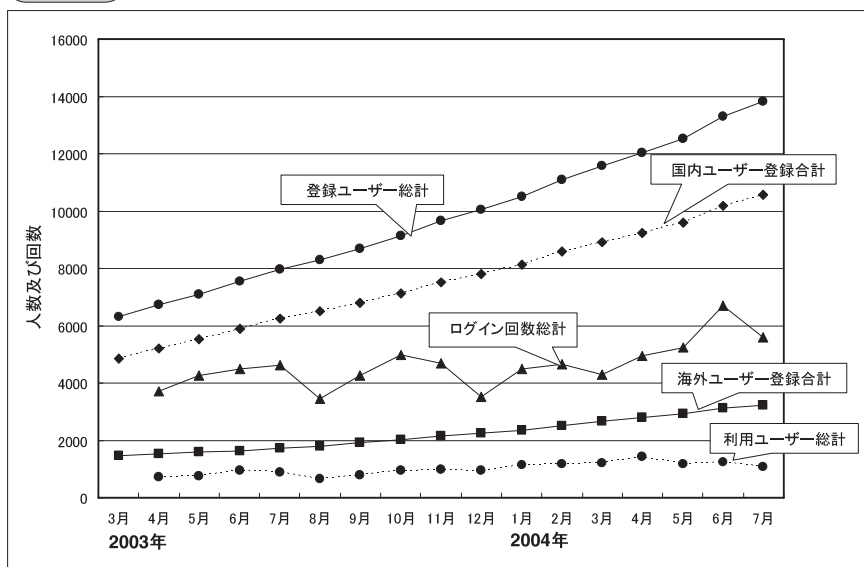
企業のユーザーとなっている。このことから、NIMS物質・材料データベースは「使われる材料データベース」を標語として取り組んでいる。ここで、“使われる”とは“使いやすいこと”を意味するのではなく、“使ってもらえる内容を持つこと”を意味している。

図表4は、構造材料データベースの登録ユーザー数と利用率を示す。このデータベースは構造材料データシートの事業を基にしていることから、やや特異なデータベースとなっている。すなわち、2003年4月のデータベース公開時からデータシートそのものを貼り付けたもの（PDF版）を

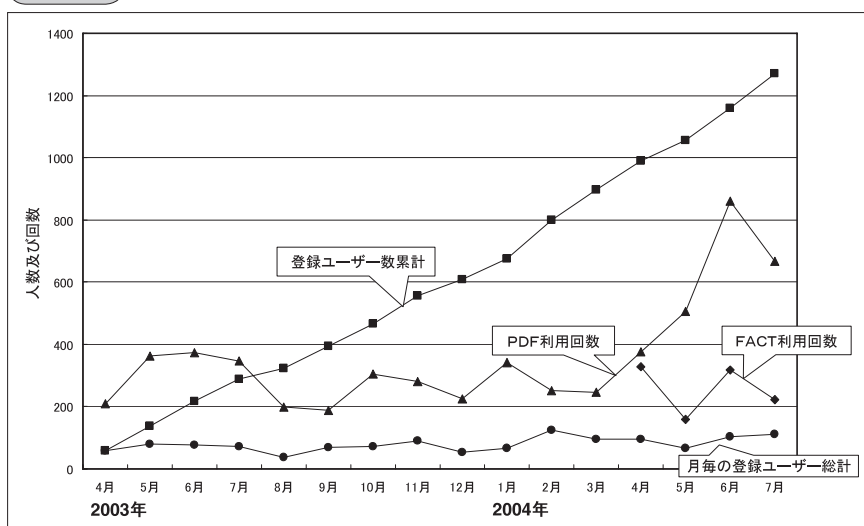
公開してきた。そして、2004年4月からは一般にデータベースと言われているような、ユーザーが材料や条件を選んで図が描けるもの（FACT版）を提供している。ユーザーの利用はFACT版が増えると予想されたが、むしろPDF版の方が多く利用されている。PDF版は印刷物としてのデータシートそのものであるが、詳細な情報やデータが記載されている。他方、FACT版は、データベースの構造が複雑になることを避けるために主要なデータのみを対象として、そのデータを使ってユーザーがさまざまな関係を作図できる機能を持っている。詳細な分析はこれからであるが、この結果から、データベースに求められることはユーザーが要求する詳細な情報を提供することであって、作図などのデータを提示する機能を提供することではないと考えられる。

登録ユーザー数や利用数を他の機関のものと比較することはあまり意味がない。というのは、数字の取り方が機関によって異なるからである。しかしながら、米国の商用データベースの利用状況と比較すると、その数字は桁違いに異なる。NIMSが志向する専門性の高いデータベースはユーザーおよび利用の数の点では汎用の商用データベースに負けてしまう。

図表3 NIMS物質・材料データベースの登録ユーザー数と利用状況



図表4 構造材料データベース※の登録ユーザー数と利用状況



※ NIMS物質・材料データベースのひとつ

3 - 2

AISTの材料系データベース

産業技術総合研究所（AIST）では、研究成果やファクトデータを提供し、活用することで産業を育成し、技術の発展に寄与することを目的として研究情報公開データベース（RIO-DB⁷⁾を1995年度から構築している。公開を開始した1996年度の公開データベース数は22で、総アクセス数（ページビュー）は31万であったが、2003年度には公開データベース

数が77、総アクセス数が3,000万を超えている。公開しているデータベースの分野別数を図表5に示す⁸⁾。AISTでは、データベースの課題選定にあたって長期的に構築する大規模データベース、地質関連データベース、AISTでしか提供できない特徴あるデータベースのいずれかで、学会や産業界などから要請の強いものに重点が置かれている。

図表6は、AISTから発信されている材料系のデータベースの概要を示したものである。の中には既に担当者が居らず、更新ができなくてアーカイブ扱いのものもあるが、長期間かけて、組織的に対応している大規模なデータベースがある。中でも、有機化合物のスペクトルデータベース⁹⁾は全アクセス数の8割強を占めるユーザーの多いデータベースである。こ

のデータベースは、有機化合物を対象にして6種類のスペクトルを収録したものであり、1970年代からデータベース構築研究を開始し、途中18年間は汎用大型コンピュータによるデータの集積活動を行い、現在はPC入力によってデータの追加・更新活動を行っている。

このように、AISTのデータベースはこれまでの長い研究蓄積のもとに、長期間かけて、組織として対応して作り上げていることが特徴であり、育て上げるべきデータベースの基本的な考え方も明確である。また、ユーザーのニーズを踏まえた活動を進めている。これは、NIMSと同様に組織的な対

図表5 AIST 研究情報公開データベース RIO-DB の分野別のデータベース数

分 野	データベース数	アーカイブ (更新せず保管)
ライフサイエンス	8	0
情報通信	5	0
ナノテク・材料・製造	16	2
環境・エネルギー	19	6
社会基盤 (地質・海洋)	16	1
社会基盤 (標準)	10	2
その他 (広報)	3	2
合 計	77	13

図表6 AIST 研究情報公開データベース RIO-DB 中の材料系データベースの概要

データベース	内 容
材料の全寿命環境規制	LCAに基づいた複合材料の研究開発
セラミックス・セラミックス薄膜の光学特性	分光透過率、反射率、放射率のような光学特性
超伝導体文献	主に高温超伝導が出現 (1987 年) した以降の文献。高温超伝導体: 49,852 件、C60 関連: 3,233 件、有機伝導体: 2,377 件、従来型超伝導体を含む非酸化物: 7,973 件、酸化物伝導体: 3,272 件、理論: 6,556 件
金属系材料設計	AISTで実施されているインプラント材料開発の紹介
加工技術	溶接加工、電解研磨加工、切削加工
セラミックカラー	陶磁器釉薬のデータ、データ件数: 1,488 件
極限環境保安対策用金属系材料	高圧水素中、高温、極低温の極限環境下での金属系材料の機械的特性データ (引張性質、疲労特性、破壊靱性値、弾塑性破壊靱性値、クリープ性質、破面写真等)
電子システムインテグレーション技術	次世代実装技術 (3次元実装、光実装) に関連する技術文献・データ、情報総数: 約 7,700 件
軽金属複合材料	アルミニウム複合材料の超塑性加工、材料特性 (機械的性質、熱的性質、耐摩耗性)
複合糖質結合型 DDS ナノ材料	薬物送達システムへの応用を目的とした DDS ナノ材料に関する研究成果: 分子設計・合成法、担癌マウス体内動態、糖鎖構造分子モデル、分子認識・機能評価
国内窯業原料	種類・分類、地域、化学組成等性質、取り扱い先から検索
水中加工技術	水中溶接、水中切断、超音波のデータベース
プラスチックの熱特性	プラスチックの 10℃毎の比熱、固体域・融解域・熱分解・気化域における所要エンタルピー等の熱特性
分散型熱物性	物質・材料の熱伝導率、熱拡散率、比熱容量、熱膨張率、放射熱などの熱物性値、個々の研究機関に独立し分散したデータベースを統合したネットワークからアクセスできるシステム。収録データ: 765 件
有機化合物のスペクトル	有機化合物を対象とした6種類のスペクトルを化合物辞書に収録したデータベース (SDBS)、化合物辞書の化合物; 約 32,200、質量スペクトル; 約 22,600、 ¹ H NMR スペクトル; 約 14,000、 ¹³ C NMR スペクトル; 約 12,300、赤外スペクトル; 約 49,200、ラマンスペクトル; 約 3,500、ESR スペクトル; 約 2,000
鉱物 / 無機材料のラマンスペクトル	セラミックの研究開発に関連して蓄積されたデータ等もとに構築した無機材料のスペクトルデータベース。鉱物: 485 件、無機化合物: 396 件、文献: 100 件

応により継続的な取り組みができる公的な研究機関であるからできるのであって、気ままな、自由な研究組織では不可能である。世界の中でユニークな知的基盤をわが国が作り、育て上げるのであれば、公的研究機関を中核として、わが国が育て上げるデータベースの対象を明確にし、それをじっくり育て上げる戦略が必要である。

3 - 3

その他の材料データベース

わが国では公的機関以外からも材料データベースが公開されている。ガラス組成データベース INTERGLAD¹⁰⁾ は 1991 年に初版が CD-ROM として出された。開発母体であるニューガラスフォーラムは、光ファイバーのような

高機能なニューガラスの産業および技術開発について情報収集・提供や国際交流を行う組織として、関連の企業により 1985 年に設立された。その後、インターネット版も出されており、さらに経済産業省知的基盤課の支援を受けて、バージョンアップを行い、現在第 5 版が出されている。国内外でのユーザーは 1,000 名近くであると報告されている。

(社)日本材料学会は、各種の構造材料特性のデータベースを出しているが、その中で金属材料疲労強度データベースは代表的なものである。このデータベースの構想は 1970 年代に始まり、1982 年と 1992 年に出版された。このデータベースは国内の金属材料の疲労強度に関するデータを収集・整理したもので、本として、また計算機

可読のデータベースとして公開されている¹¹⁾。収録されているデータは鉄鋼材料、非鉄金属材料の広範な材料を含んでいるが、1991 年までに得られたデータが対象で、最新のデータの追加はない。

また、アルミニウム、マグネシウムやチタンなどの材料製品カタログのデータが各業界団体の協会から出されている¹²⁾。しかし、その規模は大きくない。さらに、わが国の場合、数は少ないが、企業から有料で出されている材料データベースもある(電子「機械設計」ハンドブック¹³⁾)。

ニューガラスのデータベースを除いて、材料データベースとして公的研究機関以外から発信されているデータベースで世界的にユニークな事例は少ない。

4. 世界の材料データベース

4 - 1

ユーザー数を誇る民間データベース

汎用の検索エンジンを使って、「材料」について検索をかけたとき必ずトップに現れるデータベースがある。これが MatWeb¹⁴⁾ である。発信源は米国の Automation Creations 社という 1996 年に設立された企業である。この会社は、政府や企業を相手にデータベース製品やソフトウェア開発を行っており、MatWeb はそのうちの 1 つのビジネスである。彼らとのメールのやり取りをされていて気づくのは、彼らは将来成長が望めるデータベースのアーキテクチャー(製品の設計思想)に興味があるようである。材料データベースを育てることに情熱を燃やしているように感じられないことである。

MatWeb データベースは 400 以上の特性について、40,000 を超え

るデータからなっており、常に定期的に更新されている。データの 85% は材料製造者から直接供給されており、一部分文献やハンドブックからデータや情報を取得しているものの、データの大半は材料製品のカatalog値である。この会社が自ら実験を行って自ら取得したデータはない。

データの大半は、プラスチック、金属、セラミックス、ファイバーであるが、溶剤、潤滑剤、液体のデータも保有している。データは無料と有料とがあり、有料の場合には付属のツールなどが利用できる。1 日の利用者は 10,000 人、1 週間のユーザー登録数は 14,000 人で多くのユーザーを持っている。このデータベースのデータは上記のように材料関連企業が提供するカatalogデータであり、数値の保証はなく、また数値も平均的な材料の値である。

しかし、MatWeb の認知度は世界中で極めて高く、多くの機

関がリンクを張っている。このため、日本で材料データベースの統合を計画する場合、MatWeb を念頭におくことが必要である。また、MatWeb と競争する場合、MatWeb が実現していない機能、品質、信頼性などの特徴を出さなければ、利用数で負け、淘汰されてしまうということを十分に考慮すべきである。

4 - 2

世界の材料データベースの特徴

図表 7 は、長阪らによってまとめられた図¹⁵⁾を参考にして作成したものである。材料データベースの特徴を、データベースの規模、多様性(物性種が特定のか全般的か)、データの応用性(物性種が基礎的か実用的か)でまとめている。

わが国のデータベースは、実用的で特定の分野を対象としたものと基礎的で全般的な分野を対象としたものからなっており、また

データベースの規模は比較的小さなことが多い。一方、欧州には、BEILSTEIN（有機化合物データベース）や GLEMIN（無機化合物データベース）のように 200 年近くデータを収録したデータベースがあり、基礎的な特性に重点を置いたデータベースが特徴である。

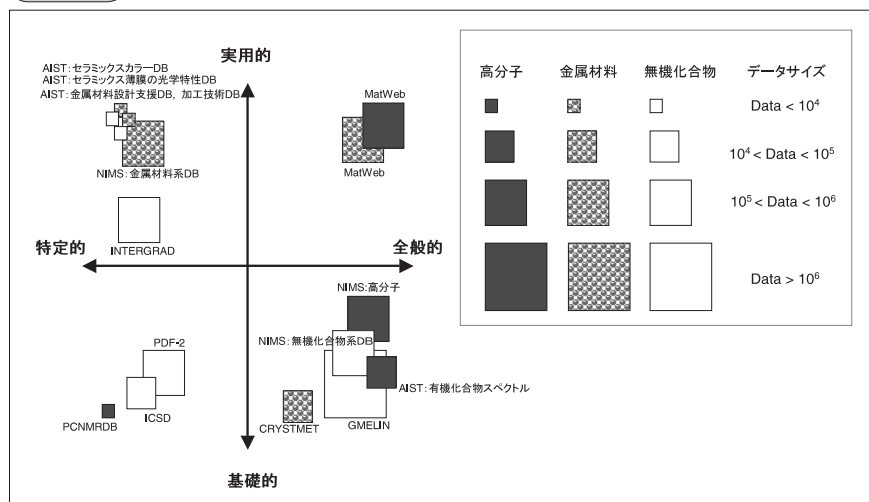
以上のことから、データベースの特徴を大雑把に抽出すると、①伝統があり、長期間かけて取得された材料・物質の基本的特性に関するデータベース、②特定の分野について、世界でユニークな内容を持ち、専門的な情報で構成されたデータベース、③カタログ的な情報を集めた大規模なデータベース、に分けられる。

材料データベースを上記のような 3 分野に分類したときに、わが国が対応できる分野は見えてくる。すなわち、科学技術の伝統が浅く、特に基礎的なデータや情報の蓄

積が少ないわが国の場合、①の分野で欧州の大規模データベースと競争するデータベースをこれから構築することは難しい。また、明確なビジネスモデルを持ち、大規模な商用データベースを作る③の分野へのチャレンジもかなり難しい。これは斬新なアイデア勝負で

あるので、難しいが絶望的とはいき切れず、チャレンジしがいはあると思われるが、公的研究機関ですべきことではない。このことから、わが国が進み得るのは、②の特定分野について、世界で唯一となるような専門性の高いデータベース作りを目指すことである。

図表 7 材料系データベースの規模と目的



長阪らの図¹⁵⁾を参考に科学技術政策研究所にて作成

5. ものづくりに活用される材料データベースに盛り込まれるべき内容

5 - 1

もの造りのために活用される材料データベース

わが国のもの造り技術の得意分野は、藤本隆宏東京大学教授によれば、現場発想の擦り合わせ型の技術であり、今後もこれを基調として組織能力を高め、アーキテチャー（設計思想）を作り上げていくべきことが強調されている¹⁶⁾。

最適な材料で製品を作り、最高の性能を発揮させるには、材料の規格値（カタログデータ）のみでは不十分であり、材料に関して詳細な情報が含まれたデータベースが必要である。わが国の場合、NIMS や AIST などの公的研究機関から発信されているデータベースは特定の専門分野を対象とし、専門性が高く、内容の充実したも

のであることは先に述べた。まさに、これらはわが国のもの造り技術を支えるものである。

以下に、事故や材料開発、研究などを通じて得られた経験を基に、材料データベースは単なる規格値で構成するのではなく、材料についての詳細な知識情報を持ったものでなければならないことを示す。このため、材料データベースは材料専門家が中心になって開発し、構築すべきであって、情報専門家は材料専門家が開発するデータベースを、情報技術の面から支援する立場で参加すべきである。なお、MatWeb のようなカタログ的なデータを組み合わせるデータベースでは、どのようなユーザーにとっても使いやすいことが重要であり、この場合には情報専門家が主体となった開発もあり得ると考えられる。

5 - 2

事故から得られた知識情報の例

1999 年 11 月、種子島から打ち上げられた H-II ロケット 8 号機はエンジン不調により打上げに失敗した。その後、エンジン部分は現代技術を駆使して太平洋の海底から引き上げられ、原因調査が行われた。その結果、ロケットの燃料である液体水素を送るターボポンプのインデューサの羽根の一部が金属疲労によって脱落し、エンジンが停止したためであることが突き止められた。金属疲労破壊の起点は羽根の表面にあった小さな加工痕であったが、使用されていた材料の疲労強度が設計に使用した疲労強度と違うことが大きな問題になった。このインデューサは国産のチタン合金を使って製造さ

れた。しかし、設計では国産の当該材料のデータがなかったために、同じ材種のNASAのデータが使用された。国産のチタン材は結晶粒度が大きく、NASAが使用したチタン材は結晶粒度が小さかった。疲労強度は結晶粒度に依存し、結晶粒度が大きいと疲労強度は低い。このために、NASAの設計値で製作されたインデューサは強度が不足していた。この事故の後、宇宙関連の材料特性データを自ら取得することの重要性が認識され、宇宙航空研究開発機構(JAXA)との協力のもとにNIMSで宇宙関連材料強度データシートが整備されることになった。このように、材料は主要成分元素だけで決まるものでなく、規格名が同じであるからと鵜呑みにして設計するとして返しを受ける。材料を安全に使うには、材料の製造条件や材料のミクロ金属組織などの情報や知識を基に十分に吟味することが必要である。

5 - 3

材料の開発や製造加工から得られた知識情報の例

(1)自動車鋼板の例

わが国の鉄鋼メーカーが優れた自動車用鋼板を製造する技術を有していることは良く知られている。自動車のボディー加工では、金型で打ち抜いたときに割れることなく、また局部的に厚さが異なることもなく、均質に変形する材料が望まれる。このためには、鉄鋼材料の技術者、金型プレス技術者、自動車ボディーの設計者による情報の共有と緊密な協力が必要とされる。わが国では鉄鋼メーカーと自動車メーカーの技術者の協力によって、高性能の自動車鋼板が開発されている¹⁷⁾。そして、今後さらに地球環境負荷の低減の要求から、自動車を軽量化するための高強度の鉄鋼材料、リサイク

ルしやすい鉄鋼材料が求められており、材料技術者と自動車設計および製造の技術者との協力による材料開発や加工技術の開発が必要とされる。このように、材料開発と機械設計がせめぎあいながら製品開発が行われるときには、材料に関する知識情報とともに、機械設計で必要とされるデータも併せ持ったデータベースの開発が必要とされる。

(2)ボイラ用耐熱鋼の例

火力発電プラントのボイラで使われる耐熱鋼は、高圧力と高温に耐えて使用される。このため、高いクリープ強度が要求される。ボイラは10万時間で破損する強度を基に決められる許容応力で設計される。このため、10万時間のクリープ破断強度を実験で求めることが要求されるが、現在ではこの種のデータ取得は資金、人材、施設が必要とされることからNIMSと欧州の研究機関で行われているのみである。クリープ強度はミクロ金属組織に敏感であり、また微量に含まれる化学元素にも影響される。例えば、ステンレス鋼の場合、規格値として定められていないボロン量を数ppm含む場合と十数ppm含む場合で特性が大きく違う¹⁸⁾。十数ppm含む場合には強度は強くなるが脆くな

り実用に供しない。数ppm添加して適度に強度を高め、しかも適度に延性のある材料が実用に供されている。このようなカタログには書かれない情報が専門家にとっては必要となる。

(3)熱処理シミュレーションの例

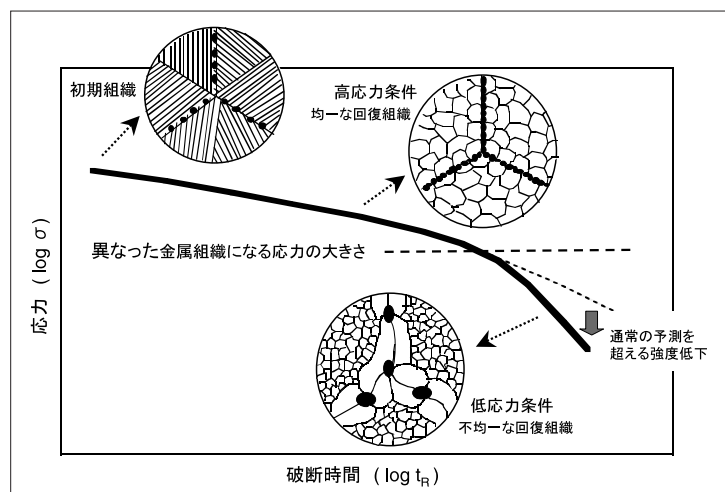
鉄鋼は、温度を変化したり、塑性加工を加えることによってミクロ金属組織が変わり、強度特性が変化する。これを利用して、日本刀が鍛えられ、微妙な特性が現出する。この現象をシミュレーションするためには、材料力学と金属材料学の知識とデータが必要である。鉄鋼材料の熱処理シミュレーションのデータベースの構築が(社)日本材料学会により井上達雄京都大学教授の下で進められ、温度や組成によって多様に変化する鉄鋼材料の応力ひずみ曲線の取得と蓄積が行われた¹⁹⁾。このように、多数の多様なデータを取得し、それに基づくデータベース作りをするときには、強いリーダーシップと各役割での協力体制が必要である。

5 - 4

研究から得られた知識情報

図表8は高クロム鋼のクリープ強度を示す。高クロム鋼は1980年代に米国で将来の高速炉構造材

図表8 高温クリープ中での耐熱鋼のミクロ組織変化の応力依存性とクリープ強度への影響¹⁹⁾



料として開発され、その後火力発電プラントに転用されて高効率化・高温化を目指して使用されている。さらに、この材料を参考にして高強度の高クロム鋼がわが国で開発されている。金属材料は高温に曝すとミクロ組織が変化し、強度特性が変化する。高強度の耐熱鋼といえども、時間が経過する

とミクロ組織が変化し、強度が低下する。図表 8 は高応力条件（破断寿命が短い）のときに結晶全域で回復が起こるが、低応力条件（破断寿命が長い）のときには結晶粒界の近傍でのみ回復が起こり、このために結晶粒界に変形が集中して強度が低下することを示している²⁰⁾。このために、回復が結晶粒

全域で起こる高応力条件でのみクリープ試験を行い、そのデータに基づいて長時間の寿命を外挿し、強度を予測すると実際よりも高めの強度を予測してしまう。そしてこの強度で、プラントを設計すると破壊事故が発生する。

6. 材料データベースについて国際的な規模での協力関係を築き上げる

データベースは蓄積された知識を整理して研究者や技術者の便に資する役割を持つ。また、必要な情報源の所在を知らせることも重要である。材料データベースの多くは専門的に内容の深いものであって、規模や情報量は比較的小さい。また、材料データは測定対象項目が多く、すべての項目に関するデータを持つデータベースを一つの機関で整備することは不可能である。

一方、データベースは作成者の研究の成果であり、努力した結果であることから、データベース作成者の思い入れが強い。また、作成者によって様々な形式を使ってデータベースを作成しており、互換性に乏しい。データベースの国際標準化が進められてきている

が、必ずしも進んでいるとはいえない。このため、これまでに構築されたデータベースを有効に活用していくことを考えたとき、強圧的なデータベース形式の統合化はデータベース関係者の協力の道を遠ざけてしまうと思われる。

英国ケンブリッジ大学の Ashby 教授は材料の研究者として著名であるが、また長い年月の構想をもとに書かれた教科書である製品設計のための材料選択の執筆者としても有名である。そして、この材料選択を大学で教えるために電子化教材を開発し、また材料データベースを構築し、さらに国際的に著名な材料データベースを結んだネットワークを構築している。Ashby 教授によれば、材料に関するデータや情報を必要としてい

る専門の研究者や技術者は、データベースの形式の統一やデータの統合よりも、データがどこにあるかを知ることのほうが重要であって、その所在がわかれば、自分で対処し、データや情報を集め、整理し、自分のために供する。そこで、データの所在が探し出せる検索エンジンである Material Data Network を大学のベンチャー企業である Granta Design 社で開発した²¹⁾。

このシステムに参加しているデータベースと発信元（研究機関や企業）を図表 9 に示す。米国材料学会（ASM）、先に示した MatWeb を提供している Automation Creations 社、英国国立物理学研究所（NPL）や英国溶接協会（TWI）、NIMS などさま

図表 9 マテリアルデータネットワーク（Material Data Network）にリンクしているデータベースの概要

データベース	発信元		概要
	機関	国	
ASM Handbook	ASM International/Granta Design Ltd.	米/英	金属材料ハンドブックのオンラインサービス
ASM Alloy Center	ASM International/Granta Design Ltd.	米/英	合金の特性
ASM Micrograph Center	International/Granta Design Ltd.	米/英	金属の組織写真集
IDES Resin Source	IDES Inc.	米	米国（ASTM）級プラスチック材料のカタログデータ
MatWeb	Automation Creations, Inc.	米	金属、高分子、セラミックス、複合材料のカタログデータ
MetalsUniverse.com	National Metals Technology Centre	英	鉄鋼、金属基複合材料、非鉄合金などの規格材の特性、環境負荷データ
MIL-HDBK-5H	Granta Design Ltd.	英	航空機産業用材料特性データ
NIMS Materials Database	物質・材料研究機構	日	NIMS 物質・材料データベースの内の種類
NPL MIDS	National Physical Laboratory	英	材料・計測情報
SteelSpec II	UK Steel	英	鉄鋼のカタログデータ
TWI JoinIT	The Welding Institut	英	溶接技術情報

ざまな組織のデータベースが参加している。このネットワークシステムはデータや情報の所在を教えるツールであり、材料データや情報の検索エンジンである。そして、ユーザーは検索結果をもとに、探し当てたサイトに自分で入り、そのデータベースに登録して情報を得る。

図表 10 は、Material Data Network を使って得られる情報量を示す。

参加している機関のデータベースはそれぞれに得意不得意の分野を持ちデータの偏りがあるが、このシステムを活用すると1つのデータベースで得られないデータや情報の所在をつかむことができ、データや情報の相互補完として使うことができる。そして、ユーザーはこのシステムによって、約14万のデータを活用することが可能になっている。

なお、データベースの良し悪しはデータ数でないことも十分に認識しておくべきである。質の違ったデータを単に数多く集めても、数が多いだけでは価値のある解析結果は得られず、むしろデータの中身が不明であるために不確実性が増し、マイナスの結果や示唆を与えかねない。

図表 10 マテリアルデータネットワーク (Material Data Network) にリンクされているデータベースの材料毎のデータ数

データベース	Ceramic	Composite	Fibres & Particulates		Form	Metal	Natural	Polymer	合 計
			Fibres	Particulates					
ASM Handbook	1,629	1,909	16	136	263	7,816	1,063	1,010	13,842
ASM Alloy Center	1,676	449	1	32	13	7,685	232	237	10,325
ASM Micrograph Center	3	1,670	None	1	None	972	36	None	2,682
IDES Resin Source	4	678	16	None	33	9	481	13,849	15,070
MatWeb	2,780	834	31	5	254	9,990	532	29,443	43,869
MetalsUniverse.com	2	63	11	None	11	215	3	6	311
MIL-HDBK-5H	20	107	56	None	133	322	6	672	1,316
NIMS Materials Database	16,563	None	None	None	None	12,029	2	10,973	39,567
NPL MIDS	263	153	31	1	11	351	147	1,900	2,857
Steel Spec II	None	1	None	None	None	5	4	1	11
TWI Join IT	450	448	171	42	63	500	268	433	2,375
合 計	23,390	6,312	333	217	781	39,864	2,774	58,524	132,225

2004 年 8 月 12 日現在

7. 材料データベースの有用性を高めるために目指すべきこと

これまでの議論をもとに、材料研究者が材料データベースを開発していく場合に、これまで以上に材料データベースが有効に活用され、材料データベースの活用の領域がさらに拡がるのが望まれるが、そのために材料データベースで何を目指すべきかを提示する。

(1)使われる材料データベースを開発する

わが国の技術は現場対応の摺り合わせ型であり、この技術思想で今後も世界のもの造りの牽引車となるとすれば、この技術思想にあ

った材料データベースの開発を進めるべきである。このためには、ユーザーの要望を十分に受け入れ、研究者の思いだけに頼らない材料データベース作りを目指すべきである。そして、個人的な対応ではなく、組織として対応ができる体制を作ることが必要であり、公的研究機関が中核となって進めるべきである。

そして、ユーザーに使ってもらうデータベースとするためには、汎用の検索エンジンで探し出されるように「見えるデータベース」を作り上げることが大事である。

(2)データベースの活用を効果あるものにするために、ソフトウェア開発と連携を図る

データベースにシミュレーション機能を付加することで、特性の予測が可能になる。このため、データベースをより効果的に活用するソフトウェア開発と連携を進めるべきである。しかし、データの活用はユーザーによってさまざまであることから、データ活用のためのソフトウェア開発はあくまでデータのユーザーが主体で進めるべきである。

(3) データネットワークの国際的な協力関係を構築する

材料データベース、特に専門性が高い材料データベース単独では限られた領域のみをカバーしているものが多い。このために、ユーザーの要求を満足させるには、多様な、複数のデータベースを組み合わせることが必要である。しかし、データベースは個々に開発の経緯も違い、開発した研究者の思いもさまざまである。これらとの調和を図ったネットワークシステム作りを目指すべきである。1つの解決策としては、先に報告した Material Data Network のように、ユーザーが必要とするデータや情報の所在を教えるシステムを世界的な規模で作り上げ

ることである。

(4) データベースを教育に活用する

我が国でも電子教育が試みられているが、まだソフト開発が始められたばかりである。先に示したケンブリッジ大学の Ashby 教授は大学での材料に関する教科書を自ら長期間かけて作成した。この教科書は、非常に独創的で、すべて実例から入り、実例を解析する中で学生が基礎知識を学ぶようになっている。そして、この実際の事例を解析する際にデータや情報が必要となり、学生はデータベースから必要なデータや情報を獲得する。まさに、技術者の現場に似た大学教育となっている。これを我が国で実行するとすると、教科書などの教育資材の開発が必要で

あり、また学生が使えるソフトウェアの開発も必要である。

(5) データベースの情報を産業の場に活用する

材料や製品が国際的に動き回る時代となった。そしてこの傾向は今後ますます加速する。このため、国際的に流通する材料に関し、その購入や使用の利便性を支援するための新たなビジネス向けのデータベースが必要である。そして、このデータベースで扱われるデータや情報は技術分野のみで活用されるのではなく、世界中のあらゆる部門や領域を相手にするために、共通の知識のもとで記述されなければならない。

8. おわりに

データベースは金がかかり、資金投入の割には役に立たないというような批判もこれまでたびたびされてきた。この批判が当たっている部分もあろう。しかし、データや情報の系統的な蓄積は社会経済活動や国民の安全な暮らしを支える科学技術の基盤として必要である。そこで、これまでのデータベースの状況を調査し、ユーザーに使われるデータベースを作り上げるにはどうすべきかを議論した。特に、使われてこそデータベースということにこだわり、このことに対してこれまでの材料データベースの進め方で問題はどこにあるのか、ユーザーに使ってもらうためにはどのような工夫が必要か、さらにユーザーの要望にどう応えてどのような材料データベースを開発していくべきかを述べた。以下に、本議論から得られた事項で特に強調すべき点を示す。

- 我が国の技術開発の強みは現場技術にある。そして、材料デー

タベースは現場技術に比べられる内容を備えたものとして作り上げなければならない。しかも、ユーザーのニーズを取り入れて、世界の中でユニークな材料データベースとして作り上げることが重要である。さらに、ユーザーに使われるためには見えるデータベースを作り上げることが必要である。そして、これに比べられる材料データベースに対しては資金と人材を投入して育て上げ、我が国の強さを世界に示していくべきである。

- 材料データベースはそれぞれ専門的な領域を持っている。そして、複数のデータや情報を組み合わせることによりユーザーの要求をより幅広く受け入れることができる。このためには、材料データベースのネットワークを世界的な規模で作り上げることが有効である。しかし、データベースの作成者の思いを汲み取らないデータベースの強圧的な統合は難しい。専門のユーザ

ーにとっては情報源の所在を知ることが最も必要である。そこで情報源の所在を知ることができる材料データベースの国際的なネットワークシステム作りを目指すべきである。この役割を果たすためにもそれぞれのデータベースが、ユニークな材料データベース作りを目指すことは大事である。

また、材料データベースを育てるために以下の点も指摘する。

- 学生に技術の現場を経験させるために、教育にデータベースを導入することが必要である。このためには、現場の実態を踏まえた教育資材の開発が必要であり、材料データベースを組み込んだ教育資材の開発を支援する仕組みを作るべきである。
- 材料データベースは開発ばかりでなく、維持し育て上げることも重要である。このため、材料データベースの維持に関して、

研究開発と違った資金枠を確保すべきである。

最後に、これまで述べてきたように、材料データベースは単なる数値を集めて整理したものではなく、材料に関する知識情報が備わってはじめて光り輝く価値を持つ。このことから、ユーザーが満足する、専門性の高い材料データベース作りには材料研究者および技術者が主体となって進めることが必要である。そして、何よりも彼らの熱意と努力があって世界の中でユニークな材料データベースが出来上がる。このような思いで作られた材料データベースをわが国の貴重な財産として長期的に育て上げる仕組みを整備していくことが求められる。

参考文献

- 1) 総合科学技術会議：諮問第1号「科学技術に関する総合戦略について」に対する答申、平成13年3月22日：
<http://www8.cao.go.jp/cstp/output/toushin1.pdf>
- 2) 文部科学省科学技術・学術審議会：知的基盤整備計画―2010年の世界最高水準の整備に向けて―(答申)、平成13年8月20日：
http://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/gijyutu/gijyutu0/toushin/010803.htm
- 3) 知的基盤整備委員会：知的基盤整備計画（答申）のフォローアップと見直し、平成16年3月：
http://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/gijyutu/gijyutu8/gaiyo/04040801.htm
- 4) 国立情報学研究所：平成14年度学術情報データベース実態調査報告書、平成15年3月：
<http://www.nii.ac.jp/publications/DBDR/H14dbdr.pdf>
- 5) 社団法人日本アルミニウム協会、財団法人金属系材料研究開発センター：平成11年度材料関連知的基盤整備委託成果報告書、非鉄金属材料系材料のデータベースの整備「材料分野の知的基盤整備状況調査」、平成13年3月
- 6) 物質・材料研究機構、材料基盤情報ステーション：NIMS物質・材料データベース：
<http://mits.nims.go.jp/>
- 7) 産業技術総合研究所：研究情報公開データベース、RIO-DB：
<http://www.aist.go.jp/RIODB/>
- 8) 濱崎陽一：“RIO-DB、研究情報公開データベース”、AIST Today、産業技術総合研究所、Vol.4、No.7、(2004)、17-21.
- 9) 産業技術総合研究所：有機化合物のスペクトルデータベース：
<http://www.aist.go.jp/RIODB/SDBS/menu-j.html>
- 10) 伊勢田 徹：“ガラス組成データベース INTERGLAD Ver.5の紹介―ガラス組成の設計も手軽に―”、NEW GLASS、Vo.16、No.2、(2001)、76-81：
<http://www.ngf.or.jp>
- 11) 酒井達雄：“日本材料学会の各種材料データベースの概要と公開利用”、(社)日本材料学会第26回材料講習会「各種材料データベースとCAE利用技術の新展開」、(2003)、1-6
- 12) 例えば、
<http://210.225.184.19/alumi/>
<http://210.225.184.19/magne/>
<http://www.src-serve-unet.ocn.ne.jp/titanium/>
- 13) (株)日立製作所：電子版「機械設計」handbook：
<http://www.englink21.com/i-eng/guest2/0m0315.htm>
- 14) Automation Creations 社：MatWeb Material Property Data：
<http://www.matweb.com>
- 15) 長阪匡介、他：“物質・材料系データベースの現状と今後”、情報管理、Vol.44、No.4、(2001)、245-257
- 16) 藤本隆宏：“日本のもの造り哲学”、日本経済新聞社、2004年6月
- 17) 中岡哲郎編著：“戦後日本の技術形成、模倣か創造か”、日本経済評論社、(2002)、pp.193-227
- 18) 田中秀雄、村田正治、阿部富士雄、八木晃一：“SUS347H鋼の長時間クリープは段特性に及ぼす粒界析出物の影響”、鉄と鋼、Vol.83、No.1、(1997)、72-77
- 19) 塑性工学部門委員会材料データベース研究分科会：“熱処理シミュレーションのための材料特性データベースの構築”、材料、Vol.51、No.3、(2002)、350-355
- 20) 木村一弘、九島秀昭、阿部富士雄、“応力―破断時間曲線の領域分割法による高Crフェライト耐熱鋼のクリープ寿命予測の高度化”、材料、Vo.52、No.1、(2003)、57-62
- 21) Granta Design 社：Material Data Network：
<http://matdata.net>

.....

SCIENCE & TECHNOLOGY TRENDS

September 2004
(NO.42)

Science & Technology Foresight Center

National Institute of Science and
Technology Policy (NISTEP)
Ministry of Education, Culture, Sports,
Science and Technology

※このレポートについてのご意見、お問い合わせは、下記のメールアドレスまたは電話番号までお願いいたします

なお、科学技術動向のバックナンバーは、下記の URL にアクセスいただき「報告書一覧 科学技術動向・月報」でご覧いただけます。

文部科学省科学技術政策研究所 科学技術動向研究センター

連絡先：〒 100 - 0005 東京都千代田区丸の内 2 - 5 - 1

電話 03 - 3581 - 0605 FAX 03 - 3503 - 3996

URL <http://www.nistep.go.jp>

Email stfc@nistep.go.jp

- ▶ Life Sciences
- ▶ Information & Communication Technologies
- ▶ Environmental Sciences
- ▶ Nanotechnology & Materials
- ▶ Energy
- ▶ Manufacturing Technology
- ▶ Infrastructure
- ▶ Frontier